



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PROCESSOS**



**TESE**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:  
DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS**

***CARACTERIZAÇÃO DE FÉCULAS NATIVAS E MODIFICADAS DE  
INHAME E DESENVOLVIMENTO DE BIOFILMES***

**LEILA DE SOUSA NUNES**

**Campina Grande – Paraíba  
Julho/ 2013**

**LEILA DE SOUSA NUNES**

***CARACTERIZAÇÃO DE FÉCULAS NATIVAS E MODIFICADAS DE  
INHAME E DESENVOLVIMENTO DE BIOFILMES***

**Tese apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de  
Processos da Universidade Federal de  
Campina Grande, em cumprimento  
das exigências para obtenção do título  
de Doutora em Engenharia de  
Processos.**

**ORIENTADORES**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elita Martins Duarte**

**Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata**

**Campina Grande, Paraíba**

**Julho/ 2013**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

N972c      Nunes, Leila de Sousa.  
                Caracterização de féculas nativas e modificadas de inhame e desenvolvimento de biofilmes / Leila Nunes de Sousa. – 2013.  
                178 f. : il. color.

                Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

                "Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elita Martins Duarte, Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcante Mata".

                Referências.

                1. *Dioscorea sp.* 2. Fécula. 3. Modificação Química. 4. Biofilmes. I. Duarte, Maria Elita Martins . II. Mata, Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti. III. Título.

CDU 62:633.685(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PROCESSOS



LEILA DE SOUSA NUNES

**CARACTERIZAÇÃO DE FÉCULAS NATIVAS E MODIFICADAS DE  
INHAME E DESENVOLVIMENTO DE BIOFILMES**

**BANCA EXAMINADORA**


**PARECER**

  
Prof.ª Dr.ª Maria Elita Martins Duarte  
(Orientadora – UFCG/CTRN/UAEAg)

Aprovado

  
Prof. Dr. Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata  
(Orientador – UFCG/CTRN/UAEAg)

APROVADA

  
Dr. Renato Fonseca Aragão  
(Examinador Externo – UFCG/CTRN/UAEAg)


APROVADO

  
Prof. Dr. Marco José de Almeida Gama  
(Examinador Externo – UFCG/CCT/UAF)

APROVADO

  
Prof.ª Dr.ª Pablicia Oliveira Galdino  
(Examinadora Externa – UEPB/CCHA/DCA)

Aprovada

  
Dr.ª Severina de Sousa  
(Examinadora Externa – UFCG/CTRN/UAEAg)

APROVADO

Campina Grande – Paraíba

Julho/ 2013

***Dedicatória***

*A minha família, pelo carinho que  
enriquece a minha vida*

***“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”***

***(Simone de Beauvoir)***

***“A persistência é o menor caminho do êxito”***

***(Charles Chaplin)***

## ***Agradecimentos***

*A Deus, por me amparar em momentos difíceis para superar as dificuldades e me mostrar os caminhos nas horas incertas.*

*A minha família, pelo carinho e apoio incondicional.*

*Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande pela oportunidade oferecida aos alunos.*

*Aos meus orientadores Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Elita Martins Duarte e Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata, pelo empenho, orientação, incentivo, e, sobretudo, pela amizade.*

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.*

*Ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas e ao Laboratório de Irrigação e Salinidade pertencentes à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande.*

*Ao Laboratório de Caracterização de Materiais pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.*

*Ao Laboratório de Química Analítica e Físico-Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Câmpus Apodi.*

*Aos membros da banca examinadora, pela preciosa colaboração.*

*Aos colegas que me acompanharam e me apoiaram durante a realização desta pesquisa, em especial a Renata e Anastácia, pela participação, mais que efetiva, nos trabalhos.*

*A todos, minha sincera gratidão.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xviii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xxiv</b>
<b>1- INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1- Objetivo geral.....	03
1.1.1- Objetivos específicos.....	03
<b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>05</b>
2.1- Inhame .....	05
2.2- Amido.....	06
2.2.1- Composição e estrutura dos grânulos de amido.....	06
2.2.1.1 - Amilose e amilopectina.....	06
2.2.1.2 - Organização do grânulo de amido.....	09
2.2.1.3 - Forma e tamanho dos grânulos de amido.....	10
2.2.1.4 - Outros constituintes do amido.....	11
2.2.2 - Propriedades dos amidos.....	12
2.2.2.1 - Densidade.....	12
2.2.2.2 - Solubilidade em água e poder de inchamento.....	13
2.2.2.3 - Gelatinização, retrogradação e sinérese.....	14
2.2.2.4 - Claridade da pasta.....	16
2.2.2.5 - Perfil de textura do gel.....	17
2.2.3 - Amido quimicamente modificado.....	19
2.2.3.1 - Amido ácido-modificado.....	19
2.3 - Secagem.....	20
2.3.1 - Métodos de secagem.....	21



2.3.2 - Migração da água.....	22
2.3.3 - Equações de secagem.....	24
2.3.3.1 - Difusividade efetiva.....	25
2.3.4 - Secagem de amido.....	26
2.4 - Propriedades de sorção da água.....	27
2.4.1 - Tipos de água.....	27
2.4.2 - Atividade de água.....	28
2.4.3 - Isotermas de sorção de água.....	29
2.4.4 - Equações matemáticas de sorção de água.....	34
2.5 - Embalagens plásticas.....	35
2.5.1 - Biofilmes.....	35
2.5.2 - Propriedades dos biofilmes.....	37
2.5.2.1 - Microestrutura.....	37
2.5.2.2 - Gramatura e espessura.....	38
2.5.2.3- Opacidade.....	39
2.5.2.4- Solubilidade em água.....	39
2.5.2.5-Tensão e porcentagem de elongação na ruptura.....	40
<b>3 - MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1- Matéria-prima.....	42
3.2 - Processamento dos tubérculos de inhame.....	43
3.2.1 - Extração da fécula nativa.....	43
3.2.2 - Cinética de secagem da fécula nativa.....	44
3.2.3 - Rendimento de extração da fécula nativa.....	45
3.3 - Modificação química das féculas nativas.....	46
3.4 - Cinética de secagem das féculas quimicamente modificadas.....	46
3.5 - Caracterização das féculas nativas e modificadas.....	47
3.5.1 - Caracterização físico-química.....	47
3.5.2 - Forma e tamanho dos grânulos.....	47
3.5.3 - Densidade.....	47
3.5.4 - Solubilidade em água e poder de inchamento .....	47
3.5.5 - Temperatura de gelatinização.....	48
3.5.6 - Sinérese.....	49

3.5.7 - Claridade da pasta.....	49
3.5.8 - Perfil de textura do gel.....	50
3.5.9 - Isotermas de sorção de água.....	50
3.6 - Elaboração dos biofilmes.....	51
3.7 - Caracterização dos biofilmes.....	51
3.7.1 - Microestrutura.....	51
3.7.2 - Gramatura.....	52
3.7.3 - Espessura.....	52
3.7.4 - Opacidade.....	52
3.7.5 - Solubilidade em água .....	53
3.7.6 - Tensão e porcentagem de elongação na ruptura.....	53
3.8 - Delineamento experimental.....	54
<b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
4.1 - Processamento dos tubérculos de inhame.....	55
4.1.1 - Cinéticas de secagem das féculas nativas.....	55
4.1.2 - Rendimento de extração das féculas nativas.....	62
4.1.3 - Cinética de secagem das féculas quimicamente modificadas.....	63
4.3 - Caracterização das féculas nativas e modificadas.....	69
4.3.1 - Caracterização físico-química.....	69
4.3.2 - Forma e tamanho dos grânulos.....	72
4.3.3 - Densidade.....	76
4.3.4 - Solubilidade em água e poder de inchamento.....	78
4.3.5 - Temperatura de gelatinização.....	81
4.3.6 - Sinérese.....	83
4.3.7 - Claridade da pasta.....	86
4.3.8 - Perfil de textura do gel.....	88
4.3.9 - Isotermas de sorção de água.....	97
4.4 - Caracterização dos biofilmes .....	109
4.4.1- Microestrutura .....	109
4.4.2 - Gramatura e espessura.....	114
4.4.3 - Opacidade.....	117
4.4.4 - Solubilidade em água.....	120

4.4.5- Tensão e porcentagem de elongação na ruptura.....	121
<b>5 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>128</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>161</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>173</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Estrutura química da amilose - componente do grânulo de amido. Fonte: BELLO-PÉREZ (2006).....	07
Figura 2.2 - Estrutura química da amilopectina - componente do grânulo de amido. Fonte: BELLO-PÉREZ (2006).....	07
Figura 2.3 - Representação da estrutura helicoidal da amilose. Fonte: ARAÚJO et al. (2007).....	08
Figura 2.4 - Representação da estrutura molecular da amilopectina. Fonte: SPIER (2010).....	08
Figura 2.5 - Representação da estrutura interna do grânulo de amido. Fonte: DENARDINI & SILVA (2009).....	09
Figura 2.6 - Representação da organização das regiões amorfas e cristalinas do amido. Fonte: (SPIER, 2010).....	09
Figura 2.7 - Gráfico gerado em análise instrumental de dureza e adesividade de alimentos. Fonte: adaptado de KAUR et al. (2007).....	18
Figura 2.8 - Representação esquemática do movimento da água no interior do produto durante o processo de secagem. Fonte: FELLOWS (2006).....	22
Figura 2.9 - Comportamento de uma curva típica de secagem. Fonte: FELLOWS (2006).....	23
Figura 2.10 - Zonas da isoterma de sorção de água. Fonte: ORDÓÑEZ-PEREDA et al. (2005).....	30
Figura 2.11 - Efeito da temperatura na isoterma de sorção de água. Fonte: ORDÓÑEZ-PEREDA et al. (2005).....	31
Figura 2.12 - Histerese das isotermas de sorção de água. Fonte: ORDÓÑEZ-PEREDA et al. (2005).....	32
Figura 2.13 - Tipos de isotermas de sorção. Fonte: MATHLOUTHI & ROGÉ (2003).....	33
Figura 2.14 - (a) Produto com grande quantidade de sacarose; (b) extrato de chicória liofilizado; (c) café; (d) extrato em pó de pâncreas de suíno; (e) amido de arroz. Fonte: FENNEMA (2000).....	34
Figura 3.1- Representação do processo de obtenção das féculas de inhame com	

	posterior elaboração de biofilmes.....	42
Figura 4.1 -	Dados experimentais da secagem de féculas nativas de inhames variedades São Tomé (FNST) e Da Costa (FNDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Page.....	56
Figura 4.2 -	Dados experimentais da secagem de féculas nativas de inhames variedades São Tomé (FNST) e Da Costa (FNDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Parry.....	56
Figura 4.3 -	Dados experimentais da secagem de féculas nativas de inhames variedades São Tomé (FNST) e Da Costa (FNDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Henderson & Pabis.....	57
Figura 4.4 -	Dados experimentais da secagem de féculas nativas de inhames variedades São Tomé (FNST) e Da Costa (FNDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Fick.....	57
Figura 4.5 -	Dados experimentais da secagem de féculas modificadas de inhames variedades São Tomé (FMST) e Da Costa (FMDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Page.....	64
Figura 4.6 -	Dados experimentais da secagem de féculas modificadas de inhames variedades São Tomé (FMST) e Da Costa (FMDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Parry.....	64
Figura 4.7 -	Dados experimentais da secagem de féculas modificadas de inhames variedades São Tomé (FMST) e Da Costa (FMDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Henderson & Pabis.....	65
Figura 4.8 -	Dados experimentais da secagem de féculas modificadas de inhames variedades São Tomé (FMST) e Da Costa (FMDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Fick.....	65
Figura 4.9 -	Fotomicrografia da fécula nativa de inhame variedade São Tomé observada por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 100x).....	72
Figura 4.10 -	Fotomicrografia da fécula nativa de inhame variedade Da Costa observada por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 100x).....	73

Figura 4.11 - Fotomicrografia da fécula modificada de inhame variedade São Tomé observada por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 100x).....	73
Figura 4.12 - Fotomicrografia da fécula modificada de inhame variedade Da Costa observada por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 100x).....	73
Figura 4.13 - Distribuição dos tamanhos dos grânulos da fécula nativa de inhame São Tomé.....	74
Figura 4.14 - Distribuição dos tamanhos dos grânulos da fécula nativa de inhame Da Costa.....	74
Figura 4.15 - Distribuição dos tamanhos dos grânulos da fécula modificada de inhame São Tomé.....	75
Figura 4.16 - Distribuição dos tamanhos dos grânulos da fécula modificada de inhame Da Costa.....	75
Figura 4.17 - Dados experimentais de solubilidade em água para féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e Da Costa e curvas estimadas pela equação exponencial.....	80
Figura 4.18 - Dados experimentais de poder de inchamento para féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e Da Costa e curvas estimadas pela equação exponencial.....	81
Figura 4.19 - Sinérese para as féculas nativas e modificadas dos inhames <i>Dioscorea alata</i> (São Tomé) e <i>Dioscorea cayennensis</i> (Da Costa).....	84
Figura 4.20 - Sinérese acumulada em 6 ciclos de congelamento de descongelamento para as féculas nativas e modificadas dos inhames <i>Dioscorea alata</i> (São Tomé) e <i>Dioscorea cayennensis</i> (Da Costa).....	85
Figura 4.21 - Dureza do gel com fécula nativa de inhame variedade São Tomé.....	88
Figura 4.22 - Dureza do gel com fécula nativa de inhame variedade Da Costa.....	89
Figura 4.23 - Dureza do gel com fécula modificada de inhame variedade São Tomé.....	89
Figura 4.24 - Dureza do gel com fécula modificada de inhame variedade Da Costa.....	90
Figura 4.25 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 20 °C para a fécula nativa de inhame variedade São Tomé (FNST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith..	98

Figura 4.26 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 30 °C para a fécula nativa de inhame variedade São Tomé (FNST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith..	98
Figura 4.27 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 40 °C para a fécula nativa de inhame variedade São Tomé (FNST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith..	99
Figura 4.28 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 20 °C para a fécula nativa de inhame variedade Da Costa (FNDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	99
Figura 4.29 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 30 °C para a fécula nativa de inhame variedade Da Costa (FNDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	100
Figura 4.30 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 40 °C para a fécula nativa de inhame variedade Da Costa (FNDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	100
Figura 4.31 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 20 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade São Tomé (FMST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	101
Figura 4.32 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 30 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade São Tomé (FMST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	102
Figura 4.33 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 40 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade São Tomé (FMST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	102
Figura 4.34 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 20 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade Da Costa (FMDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	103
Figura 4.35 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 30 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame	

variedade Da Costa (FMDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	103
Figura 4.36 - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 40 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade Da Costa (FMDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith.....	104
Figura 4.37 - Aspecto geral dos biofilmes: A) biofilme obtido de féculas nativas de inhame e B) biofilme obtido de féculas quimicamente modificadas de inhame.....	110
Figura 4.38 - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula nativa São Tomé (FNST) e com adição de 20 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x.....	110
Figura 4.39 - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula nativa São Tomé (FNST) e com adição de 30 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x.....	111
Figura 4.40 - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula nativa Da Costa (FNDC) e com adição de 20 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x.....	111
Figura 4.41 - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula nativa Da Costa (FNDC) e com adição de 30 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x.....	111
Figura 4.42 - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula modificada São Tomé (FMST) e com adição de 20 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x.....	112
Figura 4.43 - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula modificada São Tomé (FMST) e com adição de 30 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x.....	112
Figura 4.44 - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula modificada Da Costa (FMDC) e com adição de 20 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x.....	112
Figura 4.45 - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula modificada Da Costa (FMDC) e com adição de 30 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x.....	113



## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

%	Porcentagem
°C	Graus Celcius
μL	Microlitros
μm	Micrômetro
a	Constante de ajuste da equação
A	Área de secção transversal
A <sub>bio</sub>	Área do biofilme
Ab <sub>S600</sub>	Absorbância a 600 nanômetros
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
a <sub>w</sub>	Atividade de água
b	Constante de ajuste da equação
B.E.T.	Brunauer, Emmet e Teller
B.O.D.	Biological Oxygen Demand
b.s.	Base seca
b.u.	Base úmida
c	Constante de ajuste da equação
C <sub>a</sub>	Teor de matéria seca da fécula nativa obtida após a secagem
C <sub>i</sub>	Teor de matéria seca do inhame triturado
cm	Centímetro
COO <sup>-</sup>	Carboxilato
CV	Coefficiente de variação
d	Constante de ajuste da equação
d <sub>0</sub>	Distância inicial de separação
D <sub>ef</sub>	Difusividade efetiva
DMS	Desvio mínimo significativo
DQM	Desvio quadrático médio
d <sub>r</sub>	Distância no momento da ruptura
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
E	Espessura do biofilme
E <sub>l</sub>	Elongação na ruptura
eq	Equivalente
<i>f</i>	Fugacidade do solvente na solução
<i>f</i> <sub>0</sub>	Fugacidade do solvente puro
FAO	Food and Agriculture Organization
F <sub>m</sub>	Força máxima no momento da ruptura do filme
FMDC	Fécula Modificada Da Costa
FMST	Fécula Modificada São Tomé
FNDC	Fécula Nativa Da Costa
FNST	Fécula Nativa São Tomé
g	Grama
G	Gramatura
h	Constante de ajuste da equação
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Hidrônio
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido fosfórico
ha	Hectare
HCl	Ácido clorídrico

HNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico
IAL	Instituto Adolfo Lutz
J	Joule
k	Coeficientes de secagem
k <sub>1</sub>	Constante de ajuste da equação
k <sub>2</sub>	Constante de ajuste da equação
Kg	Quilograma
L	Litro
l	Metade da espessura da placa
LAPPA	Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas
m <sub>a</sub>	Massa de fécula nativa obtida após a secagem
m <sub>am</sub>	Massa da amostra
m <sub>bio</sub>	Massa do biofilme
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
m <sub>f</sub>	Massa final da amostra
mg	Miligrama
MG	Média geral
m <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Massa do líquido sobrenadante
m <sub>i</sub>	Massa inicial da amostra
min	Minuto
m <sub>it</sub>	Massa de inhame triturado
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
m <sub>r</sub>	Massa do resíduo da evaporação
n	Número de termos da série
N	Newton
N.s	Newton por segundo
n <sub>1</sub>	Constante de ajuste da equação
n <sub>2</sub>	Constante de ajuste da equação
NaOH	Hidróxido de sódio
N <sub>e</sub>	Número de dados experimentais
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Amônio
OH <sup>-</sup>	Hidrônio
O <sub>p</sub>	Opacidade
P	Desvio percentual médio
p	Massa da fécula intumescida
P.A.	Pro analyse
P <sub>0</sub>	Pressão de vapor da água pura na mesma temperatura
P <sub>a</sub>	Pressão de vapor do alimento
PA	Poliamida
PB	Paraíba
PET	Polietilenotereftalato
PI	Poder de inchamento
PP	Polipropileno
ppm	Partes por milhão
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
q	Constante de ajuste da equação
R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinação

$R_{MS}$	Rendimento em termos de matéria seca
$R_p$	Rendimento prático
rpm	Rotações por minuto
RX	Razão de teor de água
$Rx_{exp}$	Razão de teor de água experimental
$Rx_{pred}$	Razão de teor de água predita pela equação
S	Sinérese
SA	Solubilidade em água
SF	Solução filmogênica
t	Tempo
T	Tempertaura
$T_0$	Temperatura inicial de gelatinização
$T_c$	Temperatura de conclusão de gelatinização
ton	Tonelada
$T_p$	Temperatura de pico de gelatinização
TR	Tensão na ruptura
Tr	Transmitância
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UR	Umidade relativa
W	Watt
X	Teor de água
$X_0$	Teor de água inicial
$X_e$	Teor de água de equilíbrio
$X_t$	Teor de água médio no tempo t
z	Constantes de ajuste da equação
$\Delta H$	Variação de entalpia
$\Delta T$	Variação de temperatura
$\gamma_e$	Valor experimental
$\gamma_t$	Valore teórico

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 -	Constantes obtidas para as equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis ajustadas aos dados das secagens das féculas nativas de inhame, valores do coeficiente de determinação e dos desvios quadráticos médios obtidos nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C.....	58
Tabela 4.2 -	Valores da difusividade efetiva, coeficiente de determinação e desvios quadráticos médios obtidos no ajuste da equação de Fick aos dados experimentais das secagens das féculas nativas de inhame, sem o efeito do encolhimento.....	59
Tabela 4.3 -	Valores de teores de água iniciais e de equilíbrio e os respectivos desvios padrão para féculas nativas de inhame, a 30, 40 e 50 °C.....	61
Tabela 4.4 -	Valores dos rendimentos práticos, rendimentos em termos de matéria seca e desvio padrão nos processos de extração verificados durante as secagens das féculas nativas de inhame, a temperatura de 50 °C ....	62
Tabela 4.5 -	Constantes obtidas para as equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis ajustadas aos dados das secagens das féculas modificadas de inhame, valores do coeficiente de determinação e dos desvios quadráticos médios obtidos nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C.....	67
Tabela 4.6 -	Valores da difusividade efetiva, coeficiente de determinação e desvios quadráticos médios obtidos no ajuste da equação de Fick aos dados experimentais das secagens das féculas modificadas de inhame, sem o efeito do encolhimento.....	67
Tabela 4.7 -	Valores de teores de água iniciais e de equilíbrio e os respectivos desvios padrão para féculas modificadas de inhame, a 30, 40 e 50 °C.	68
Tabela 4.8 -	Valores médios e desvios padrões dos parâmetros físico-químicos das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	69
Tabela 4.9 -	Comparação entre médias de teor de água das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator tipo de fécula.....	70

Tabela 4.10 - Valores médios e desvios padrões de densidade das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	76
Tabela 4.11 - Comparação entre médias de densidade das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator tipo de fécula.....	77
Tabela 4.12 - Valores médios e desvios padrões das propriedades solubilidade em água e poder de inchamento das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	78
Tabela 4.13 - Avaliação da temperatura de transição das féculas nativas e modificadas de inhame.....	82
Tabela 4.14 - Comparação entre médias de sinérese acumulada das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame e tipo de fécula.....	84
Tabela 4.15 - Valores médios e desvios padrões para claridade das pastas das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	86
Tabela 4.16 - Valores médios e desvios padrão para a dureza e a adesividade dos geis de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	91
Tabela 4.17 - Comparação entre médias de dureza dos geis das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de fécula.....	92
Tabela 4.18 - Comparação entre médias da dureza dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e concentração de fécula.....	92
Tabela 4.19 - Comparação entre médias da dureza dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores tipo de fécula e concentração de fécula.....	93
Tabela 4.20 - Comparação entre médias de adesividade dos geis das féculas	

nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de fécula.....	94
Tabela 4.21 - Comparação entre médias da adesividade dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula.....	94
Tabela 4.22 - Comparação entre médias da adesividade dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e concentração de fécula.....	95
Tabela 4.23 - Comparação entre médias da adesividade dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores tipo de fécula e concentração de fécula.....	96
Tabela 4.24 - Constantes de ajuste obtidas das equações de Oswin, Peleg e Smith ajustadas aos dados das isotermas para as féculas nativas de inhame, valores do coeficiente de determinação e dos desvios percentuais médios a 20, 30 e 40 °C.....	107
Tabela 4.25 - Constantes de ajuste obtidas das equações de Oswin, Peleg e Smith ajustadas aos dados das isotermas para as féculas quimicamente modificadas de inhame, coeficiente de determinação e desvios percentuais médios a 20, 30 e 40 °C.....	108
Tabela 4.26 - Valores médios e desvios padrão para as propriedades gramatura e espessura dos biofilmes desenvolvidos à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	114
Tabela 4.27 - Comparação entre médias da gramatura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame e tipo de fécula.....	114
Tabela 4.28 - Comparação entre médias da gramatura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades	

	São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula.....	115
Tabela 4.29 -	Comparação entre médias da espessura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator tipo de fécula.....	116
Tabela 4.30 -	Valores médios e desvios padrão para a propriedade opacidade dos biofilmes desenvolvidos à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	117
Tabela 4.31 -	Comparação entre médias da opacidade dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol.....	118
Tabela 4.32 -	Comparação entre médias da opacidade dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores tipo de fécula e concentração de glicerol.....	119
Tabela 4.33 -	Valores médios e desvios padrão para a propriedade solubilidade em água dos biofilmes desenvolvidos à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	120
Tabela 4.34 -	Comparação entre médias da solubilidade em água dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator tipo de fécula.....	121
Tabela 4.35 -	Valores médios e desvios padrão para as propriedades tensão na ruptura e porcentagem de alongação dos biofilmes desenvolvidos à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa.....	122
Tabela 4.36 -	Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol.....	122
Tabela 4.37 -	Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames	

	variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula.....	123
Tabela 4.38 -	Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e concentração de glicerol.....	123
Tabela 4.39 -	Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores tipo de fécula e concentração de glicerol.....	124
Tabela 4.40 -	Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol.....	124
Tabela 4.41 -	Comparação entre médias da porcentagem de elongação dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator concentração de glicerol.....	125



## Resumo

Amidos e féculas são polímeros naturais utilizados em diversos setores industriais, porém, na sua forma nativa podem apresentar restrições quanto a determinadas aplicações sendo necessários alguns processos de modificação para que a utilidade deste polímero na indústria possa ser mais ampla. Além disto, o emprego de polímeros naturais na produção de materiais biodegradáveis tem sido uma alternativa, já que as embalagens, a exemplo dos filmes flexíveis, produzidas com plástico sintético se tornaram problema ambiental, por não serem biodegradáveis. Com esta pesquisa objetivou-se a obtenção de féculas nativas e quimicamente modificadas a partir de diferentes espécies de inhame (*Dioscorea alata* variedade São Tomé e *Dioscorea cayennensis* variedade Da Costa) para o desenvolvimento de biofilmes. As féculas dos inhames foram extraídas por meio de trituração com solução de NaOH 0,03 eq.L<sup>-1</sup> e secas em estufa com circulação de ar. Foram estudados, assim, o rendimento de extração das féculas nativas, as cinéticas de secagem a 30, 40 e 50 °C, as características físico-químicas e funcionais e o equilíbrio higroscópico nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C para as féculas nativas e modificadas. Utilizando a técnica de “casting”, biofilmes com 20 e 30 % de plastificante (glicerol) foram elaborados a partir das féculas nativas e modificadas e caracterizados quanto à estrutura física, solubilidade em água e propriedades mecânicas. Concluiu-se que o processo de secagem das féculas de inhame na temperatura de 50 °C foi mais eficiente que nas demais temperaturas estudadas; com valores de coeficientes de determinação superiores a 99,6 % as equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis se equivalem no que se refere ao ajuste matemático aos dados experimentais da secagem das féculas nativas e modificadas; as féculas nativas e modificadas dos inhames São Tomé e Da Costa apresentaram elevado grau de pureza (91,0 % de amido) com predominância de grânulos com formatos elipsoides e triangulares com tamanhos que variam de 10,34 µm a 48,28 µm; a equação de Smith forneceu melhor descrição dos dados experimentais das isotermas das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhame com valores médios de coeficiente de determinação maiores que 95,5 %; os fatores concentração de glicerol, variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de fécula, mantêm influência significativa sobre grande parte das propriedades das féculas e, conseqüentemente, dos biofilmes obtidos a partir delas; a modificação química (hidrólise ácida) acarretou diminuição da sinérese das féculas modificadas em relação às nativas; em comparação com as féculas nativas, as féculas ácido-modificadas de inhame originaram biofilmes menos opacos e mais resistentes à tração; o aumento da quantidade de plastificante (glicerol) nos biofilmes de féculas (nativas ou modificadas) de inhame foi um dos fatores determinantes para a elevação das propriedades opacidade, solubilidade em água e porcentagem de alongação, enquanto essa influência ocorreu de forma contrária para a tensão na ruptura.

**Palavras-chave:** *Dioscorea* sp., fécula, modificação química, biofilmes

## Abstract

Starch is a natural polymer used in various industrial sectors. However, in its native form have restrictions on certain applications, requiring some processing so that the use of this polymer in industry can be wider. Furthermore, the use of natural polymers in the production of biodegradable materials has been an alternative, once the packaging, such as flexible films, produced from synthetic plastics have become an environmental problem because they are not biodegradable. The purpose of the present research is to obtain native and chemically modified starches from different species of yam (*Dioscorea alata* variety São Tomé and *Dioscorea cayennensis* variety Da Costa ) to the development of biofilms. The yams were extracted from starch by trituration with NaOH 0.03 eq.L<sup>-1</sup> and dried in an air circulating oven. It was determined the extraction yield of native starches, the kinetics of drying at 30, 40 and 50 °C, the physico-chemical and functional properties and the equilibrium moisture at temperatures of 20, 30 and 40 °C for native starches and modified. Using the technique of solvent casting, biofilms with 20 and 30% plasticizer (glycerol) were prepared from native and modified starches, and had the physical structure, solubility in water and mechanical properties characterized. The drying process of the yam starch at a temperature of 50 °C was more efficient than the other temperatures. With values for correlation coefficients greater than 99.6%, the equations of Page, Parry and Henderson & Pabis were equivalent as regards the mathematical fit of the drying experimental data both for the native and modified starches. The native and modified starches of yams São Tomé and Da Costa showed high purity (91.0 % starch) with a predominance of granules with ellipsoidal and triangular shapes with sizes ranging from 10.34 to 48.28 µm. The Smith equation provided better description for the experimental data of the isotherms of native and chemically modified starches with average values for the coefficient of determination greater than 95.5 %. Factors such as the glycerol concentration, the variety of yam, starch type and concentration of starch remained a largely significant influence on the properties of starch and, consequently, of biofilms obtained from them. The chemical modification (acid hydrolysis) resulted in a decreased syneresis of modified starches in relation to native. In comparison with native starches, acid modified starches originated less opaque biofilms but more resistant to traction. Increasing the amount of plasticizer (glycerol) in biofilms starch (native and modified) yam was one of the determining factors for the increase in opacity properties, water solubility and elongation, while decreasing tension at break.

**Keywords:** *Dioscorea* sp., starch, chemical modification, biofilms

## **1 - INTRODUÇÃO**

Amido e fécula são carboidratos usados como fonte energética, encontrados em diferentes vegetais (AMARAL et al., 2007; WEBER et al., 2009). Segundo CEREDA (2005), apesar de ambos possuírem a mesma estrutura química, distingue-se o amido da fécula. Alguns consideram amido como o produto amiláceo extraído das partes aéreas comestíveis dos vegetais, enquanto fécula é o produto amiláceo extraído das partes subterrâneas (RIQUEZAS NATURAIS DO AMIDO, 2004). No entanto, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), amidos são os produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas. Aqueles que são extraídos de tubérculos, raízes e rizomas, podem ser designados fécula. As duas nomenclaturas devem, ainda, ser seguida do nome comum da espécie vegetal utilizada (ANVISA, 2005). Esses polímeros podem ser empregados em indústrias cosméticas, papelarias, têxteis, farmacêuticas ou, até, em indústrias de embalagens plásticas, como materiais termoplásticos, a exemplo de embalagens, potes para plantio, pratos e talheres descartáveis. O amido e/ou fécula também é um importante insumo na indústria de alimentos devido à capacidade de alterar ou controlar diversas características como textura, aparência, umidade, consistência e estabilidade no armazenamento.

Os amidos provenientes de milho, trigo e arroz, e as féculas de batata e mandioca, são mais comuns, sendo o amido de milho mais utilizado na área industrial. No entanto, outros vegetais podem constituir fontes para extração deste produto, motivo pelo qual vêm sendo pesquisados com o objetivo de aumentar a disponibilidade e a aplicabilidade desta matéria-prima que pode ter as mais diferentes origens: amidos de feijão, grão de bico, ervilha, lentilha, biri e banana, e féculas de gengibre, e mandioquinha-salsa (LEONEL et al., 2005; SALGADO et al., 2005; HUANG et al., 2007; LEE et al., 2007; LEONEL, 2007; FREITAS & TAVARES, 2008; ROCHA et al., 2008).

Entre as fontes promissoras para a obtenção de fécula, está o inhame que, no Brasil, tem sua maior produção concentrada na região Nordeste (OLIVEIRA, 2006). Segundo LEONEL & CEREDA (2002), o inhame apresenta potencial de rendimento na extração de fécula podendo ser empregado como matéria-prima para extração de fécula comercial.

O mercado de amidos e féculas vem crescendo e se aperfeiçoando nos últimos anos levando à busca de produtos com características específicas que atendam às exigências industriais. Dependendo de fatores, a exemplo da origem botânica e do estágio de maturação do vegetal, os amidos e/ou féculas têm aplicações diferentes, porém na maioria das vezes a fécula e o amido nativo não são os mais adequados para determinados processamentos específicos, devido a algumas propriedades como retrogradação, sinérese, alta viscosidade e opacidade. Em virtude disto, esses carboidratos podem ser modificados e, então, originar amido ou fécula com propriedades necessárias ao uso específico. Dentre os processos mais comuns de modificação dos amidos e/ou féculas nativos se encontram os de origem biológica (hidrólise enzimática), física (extrusão, pré-gelatinização) e química (fosfatação, hidrólise ácida, succinilação, oxidação) (CEREDA et al., 2003; PEREIRA, 2008).

Os amidos e/ou féculas, nativos e modificados, têm diferentes estruturas e propriedades, o que conduz a estudos com o objetivo de mostrar cada particularidade, a exemplo dos amidos ácido-modificados que apresentam maior temperatura de gelatinização em relação aos amidos nativos (CEREDA et al., 2003; LAWAL et al., 2005); por esta razão os amidos e/ou féculas modificados têm atraído atenção considerável devido o maior número de aplicações, tanto na indústria alimentícia quanto em outros setores industriais, como o de embalagens.

É crescente o interesse de substituir, pelo menos em parte, os polímeros sintéticos por matérias-primas renováveis e, sobretudo, biodegradáveis, no desenvolvimento de materiais plásticos que causem menor impacto ambiental em que uma das alternativas para minimizar este problema é a utilização de amidos e/ou féculas na elaboração de materiais biodegradáveis.

Pesquisas têm sido realizadas a fim de avaliar a possibilidade do uso de amidos e/ou féculas na elaboração de embalagens flexíveis biodegradáveis, a exemplo dos biofilmes (filmes biodegradáveis) que permanecem no meio ambiente por um período de tempo menor que os filmes sintéticos e, desta forma, são facilmente degradados pela ação de micro-organismos (HENRIQUE et al., 2008; SOUZA et al., 2013) Além disso, os biofilmes apresentam grande potencial para suprir a necessidade de certas embalagens em algumas aplicações (MALI et al., 2006). Em sua maioria, biofilmes à base de amidos e/ou

féculas têm sido explorados na conservação de produtos de origem vegetal, como tomate, pêssgo, cenoura, uva, berinjela, mamão, morango, manga, pimentão e maçã, quando são aplicados diretamente na superfície do produto (DAMASCENO et al., 2003; OLIVEIRA & CEREDA, 2003; HENRIQUE & EVANGELISTA, 2006, FAKHOURI et al., 2007; SOUZA et al., 2009; PIMENTEL et al., 2011; PRATES & ASCHERI, 2011; SANTOS et al., 2011a; SANTOS et al., 2011b; CHIUMARELLI & HUBINGER, 2012), e como filmes, quando possuem estrutura própria independente (PRATES, 2010).

Esta pesquisa tem sua importância ligada ao fato de se reunir informações pertinentes a um produto amplamente utilizado no setor industrial, a fécula, proveniente de uma tuberosa de baixo valor, reconhecido na maioria dos países tropicais como o inhame, de forma a agregar valor a esta cultura através da extração de sua fécula. O conhecimento das propriedades funcionais da fécula abre possibilidades para que este produto (nativo e modificado) originário de inhame, seja utilizado tanto em produtos alimentícios quanto no desenvolvimento de materiais biodegradáveis destinados a embalagens, e nos demais setores onde possam ser aplicados, conforme tais propriedades. Além disso, existe o fato de ser uma cultura sobre a qual a região Nordeste do Brasil participa de forma considerável na sua produção interna, o que pode vir a contribuir para aumentar o desenvolvimento desta região.

## **1.1 - Objetivo geral**

Obtenção de féculas nativas e quimicamente modificadas a partir de diferentes espécies de inhame (*Dioscorea alata* variedade São Tomé e *Dioscorea cayennensis* variedade Da Costa) para o desenvolvimento de biofilmes.

### **1.1.1 - Objetivos específicos**

- ✓ Processar os tubérculos das diferentes espécies de inhame para obtenção das féculas nativas: extração da fécula, análise da cinética de secagem nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C com ajuste matemático das equações de Page, Henderson & Pabis e Parry aos dados experimentais e avaliação do rendimento de extração;

- ✓ Modificar quimicamente via hidrólise ácida, as féculas nativas oriundas de cada variedade de inhame;
- ✓ Analisar a cinética de secagem das féculas quimicamente modificadas nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C e ajustar equações de Page, Henderson & Pabis e Parry aos dados experimentais;
- ✓ Caracterizar as féculas nativas e quimicamente modificadas quanto ao teor de água, teor de cinzas, pH, acidez, teor de proteína, teor de amido, teor de lipídeos, teor de amilose, forma e tamanho dos grânulos, densidade, solubilidade e poder de inchamento, temperatura de gelatinização, sinérese, claridade da pasta e perfil de textura do gel;
- ✓ Estudar o equilíbrio higroscópico nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C por meio do levantamento das isotermas de sorção de água para as féculas nativas e quimicamente modificadas e ajustar equações de Oswin, Smith e Peleg aos dados experimentais;
- ✓ Elaborar biofilmes com diferentes concentrações de plastificante (glicerol) para cada fécula obtida;
- ✓ Caracterizar os biofilmes quanto à estrutura física, solubilidade em água e propriedades mecânicas.

## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1- Inhame**

Destinado, em sua grande maioria, ao consumo direto, o inhame é um tubérculo pertencente à família *Dioscoreaceae* cuja maior produção ocorre em regiões de clima tropical e subtropical. O gênero *Dioscorea* possui cerca de 600 espécies e diversas variedades, dentre as quais as principais espécies cultivadas no Brasil são a *Dioscorea alata* (São Tomé, Mandioca, Flórida) e a *Dioscorea cayenensis* (Da Costa, Tabica, Negro) (MONTEIRO & PERESSIN, 2002).

Durante muito tempo a nomenclatura vulgar de alguns tubérculos e rizomas como inhame, cará e taro tem gerado, no território brasileiro, grande discordância entre os técnicos, os produtores e mesmo em relação aos consumidores desses produtos. Nas regiões brasileiras do Norte/Nordeste é comum a utilização do nome popular cará, para as *Dioscorea* (PEDRALI et al., 2002). Nos Estados da Paraíba e Pernambuco as espécies de *Dioscorea* que produzem túberas grandes (inhame da Costa, inhame São Tomé) são chamadas inhame enquanto aquelas que produzem pequenas túberas são conhecidas por cará (cará Nambu). Rizomas da espécie *Colocasia* da *Araceae*, são denominados inhame na região Sul do país (SANTOS et al., 2007). Porém a espécie *Colocasia esculenta* não apresenta semelhança com as espécies do gênero *Dioscorea* e, portanto, não é considerada inhame nem cará mas denominada pelo nome vulgar de taro. As denominações corretas e uniformizadas com a nomenclatura internacional são: Inhame (*Dioscorea* sp.) e Taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) (SANTOS et al., 2007).

De acordo com os dados da Food and Agricultural Organization of the United Nations, no ano de 2009, do total de 30.264.000 toneladas de raízes e tubérculos amiláceos produzidos pelo Brasil, 231.254 toneladas foram referentes à produção de inhame (FAO, 2009). No Nordeste, especialmente nos Estados maiores produtores, como Pernambuco e Paraíba, o inhame tem grande relevância sócioeconômica, por ser um alimento de excelente qualidade nutritiva, energética e de preço acessível razão pela qual, segundo OLIVEIRA (2006), nesta região se concentram 90 % de todo o inhame produzido no Brasil.

Avaliando a potencialidade de algumas espécies de plantas tropicais, LEONEL & CEREDA (2002) constataram que o inhame apresentou o maior potencial de produção de amido por área (6,1 ton/ha) entre as sete espécies estudadas (açafrão, ahipa, araruta, batata-doce, biri, inhame e mandioquinha-salsa). Segundo DAIÚTO & CEREDA (2003), em função do seu rendimento agrícola o inhame apresenta grande potencial para produção industrial de amido.

## **2.2- Amido**

O amido constitui o material de reserva das plantas sendo armazenado na forma de grânulos semicristalinos (ZEEMAN et al., 2004; BOGRACHEVA et al., 2006). Representa um importante componente de vários produtos agrícolas como nos cereais, em que o teor de amido pode variar de 40 a 90 %; em leguminosas com variação de 30 a 50 %; em tubérculos nos quais varia de 65 a 85 %, além de frutas imaturas ou verdes com percentuais que oscilam de 40 a 70 % da massa seca (BELLO-PÉREZ, 2006b).

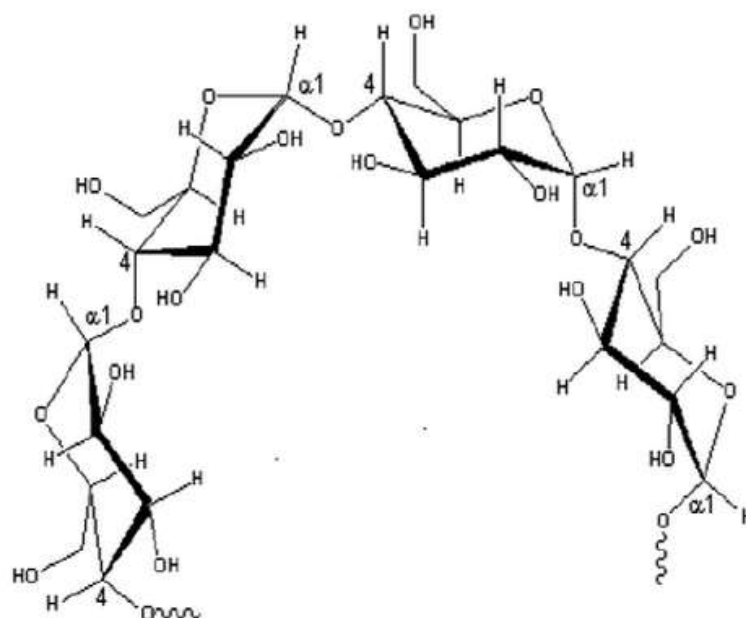
### **2.2.1- Composição e estrutura dos grânulos de amido**

O amido é um oligossacarídeo organizado em discretas partículas ou grânulos e composto, majoritariamente, por dois biopolímeros de grande peso molecular: a amilose e a amilopectina (NÚÑEZ-SANTIAGO et al., 2004; GONÇALVES, 2010).

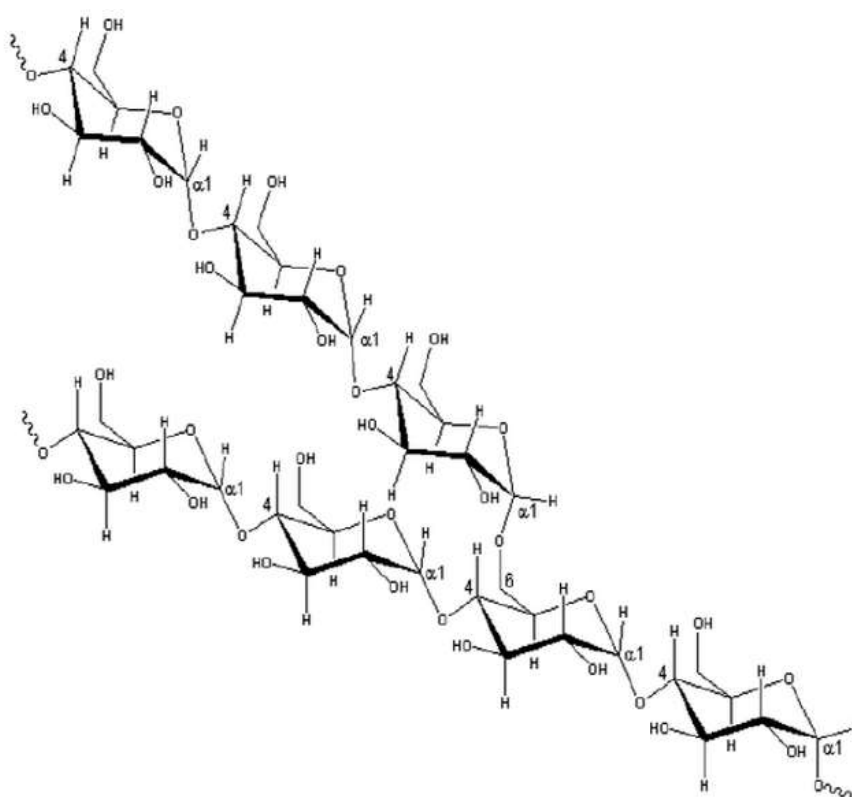
#### **2.2.1.1 - Amilose e amilopectina**

Segundo SILVA et al. (2008a) a amilose é uma molécula essencialmente linear, composta por unidades de D-glicose unidas por ligações  $\alpha$  -1,4 com pequeno número de ramificações porém BULÉON et al. (1998) concluíram, analisando um estudo sobre a estrutura da amilose realizado em 1987, que a presença das ramificações não altera significativamente o comportamento das cadeias de amilose em solução, as quais permanecem idênticas às das cadeias estritamente linear. A amilopectina é altamente ramificada e composta por unidades de D-glicose ligadas em  $\alpha$  -1,4 e com 5 a 6 % de ligações  $\alpha$  -1,6 nos pontos de ramificação; nas Figuras 2.1 e 2.2 são apresentadas as estruturas químicas da amilose e da amilopectina, respectivamente.





**Figura 2.1** - Estrutura química da amilose - componente do grânulo de amido  
Fonte: BELLO-PÉREZ (2006)



**Figura 2.2** - Estrutura química da amilopectina - componente do grânulo de amido  
Fonte: BELLO-PÉREZ (2006)

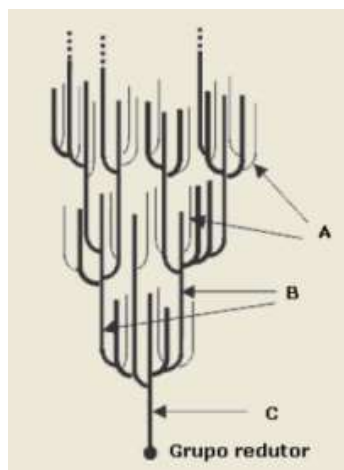
A grande funcionalidade do amido provém destas duas macromoléculas, tal como sua organização física dentro da estrutura granular (ZEVAREZ et al., 2009). Embora ilustrada tipicamente por uma estrutura linear de cadeia, a amilose é frequentemente helicoidal (Figura

2.3). As hidroxilas se posicionam voltadas para o exterior facilitando o processo de adsorção de água em virtude da formação de ligações de hidrogênio (GONÇALVES, 2010), enquanto no interior da hélice ficam os átomos de hidrogênio tornando-se uma região hidrofóbica, o que permite, à amilose, formar complexos com compostos como os ácidos graxos livres, alguns álcoois e com iodo (THOMAS & ATWEL, 1999).



**Figura 2.3** - Representação da estrutura helicoidal da amilose  
Fonte: ARAÚJO et al. (2007)

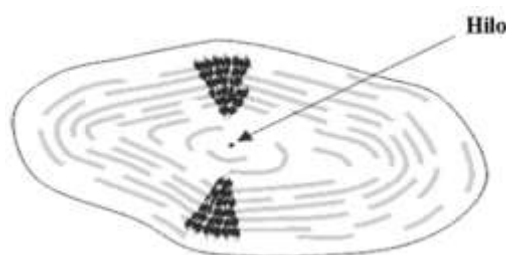
A estrutura da amilopectina é constituída por uma cadeia principal, chamada cadeia C, que carrega o grupo redutor da molécula, e inúmeras ramificações denominadas cadeias A e B (Figura 2.4). As cadeias A são conectadas a outras cadeias, através de ligações  $\alpha$ -1,6, mas não carregam ramificações. As cadeias B são conectadas a outras cadeias também via ligação  $\alpha$ -1,6 e possuem uma ou mais cadeias A ou B, conectadas através de ligações  $\alpha$ -1,6 (FRANCO et al., 2002).



**Figura 2.4** - Representação da estrutura molecular da amilopectina  
Fonte: SPIER (2010)

### 2.2.1.2 - Organização do grânulo de amido

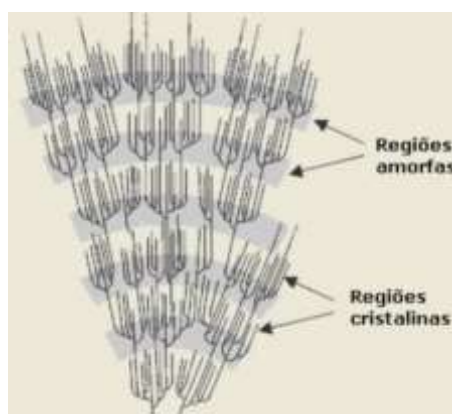
Os grânulos de amido apresentam um hilo que constitui o centro de nucleação ao redor do qual ocorre o crescimento do grânulo. A localização deste hilo pode ser central ao grânulo ou deslocado lateralmente (SPIER, 2010). Inicialmente ocorre o acúmulo de um material amorfo, de composição química desconhecida, no qual se depositam polissacarídeos insolúveis que irão atuar como núcleo para deposições subsequentes proporcionando o aumento do tamanho do grânulo de amido. Durante o crescimento do grânulo as moléculas dos componentes do amido se orientam, formando regiões cristalinas perpendiculares à superfície do grânulo (ARAÚJO et al., 2007). A forma como se apresenta a organização interna de um grânulo de amido pode ser observada na Figura 2.5.



**Figura 2.5** - Representação da estrutura interna do grânulo de amido

Fonte: DENARDINI & SILVA (2009)

Na estrutura de um grânulo de amido ocorre a formação de regiões cristalinas devido à presença de ligações de hidrogênio entre as moléculas de amilose e amilopectina associadas paralelamente. Essas regiões cristalinas são alternadas com camadas amorfas (Figura 2.6) (GONÇALVES, 2010; SPIER, 2010).



**Figura 2.6** - Representação da organização das regiões amorfas e cristalinas do amido

Fonte: (SPIER, 2010)

A região em que se concentra, a amilopectina é mais densa enquanto a região amorfa, ocupada pela amilose, é menos densa, e por isso mais susceptível à entrada de moléculas de água e enzimas apresentando menor resistência ao processo de hidrólise que a região mais compacta composta pela amilopectina (FRANCO et al., 2002).

A amilose e a amilopectina estão presentes em todos os amidos conhecidos. A proporção de amilose para amilopectina difere entre amidos provenientes das mais diversas fontes botânicas, cultivares e, ainda, condições de cultivo quando se comparam as mesmas cultivares (KITAHARA & COPELAND, 2004). A amilose constitui em torno de 17 a 30 % do total do grânulo, salvo algumas exceções, a exemplo do amido de milho, que pode apresentar até cerca de 75 % e a amilopectina contribui com cerca de 70 a 80 % do total do grânulo (FRANCO et al., 2002; ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005).

Na literatura são reportados diversos valores para teores de amilose em amidos de diferentes origens botânicas. NUNES et al. (2009a) caracterizaram amidos de três diferentes variedades de mandioca e constataram que os teores médios de amilose foram de 25,95; 32,09 e 28,21 % para as variedades Cacau, Manteiga e Eucalípito, respectivamente. SALGADO et al. (2005) verificaram que o amido de feijão Caupi verde e maduro contém, respectivamente, 5,51 e 15,63 % de amilose enquanto o teor de amilopectina foi de 13,33 e 27,10 %. Amido de grão-de-bico foi estudado por HUANG et al. (2007) que encontraram 27,2 % de amilose enquanto que SINGH et al. (2004) relataram valores que variaram de 28,6 a 34,3 %. ALVES et al. (2002) analisaram a fécula de inhame e observaram que o carboidrato apresentou teor médio de 30 % de amilose.

### **2.2.1.3 - Forma e tamanho dos grânulos de amido**

O tamanho dos grânulos é um fator que influencia as propriedades funcionais dos amidos; além disto, é um parâmetro significativo para se definir etapas do processo de extração deste sacarídeo. Os grânulos de amido têm seus tamanhos e formas característicos que variam conforme a fonte botânica (VIEIRA, 2004; ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005).

Os diâmetros dos grânulos de amido geralmente variam entre menos de 1  $\mu\text{m}$  a mais do que 100  $\mu\text{m}$ , e os formatos podem ser regulares (por exemplo: esférico, ovoide ou angular) ou bastante irregulares (THOMAS & ATWELL, 1999; YONEMOTO, 2006).

O fato da forma e do tamanho dos grânulos de amido serem função da origem botânica, de algumas das suas propriedades, do estágio de maturação e da variedade, pode explicar a ocorrência de diferentes tamanhos e formas de amidos provenientes de mesma espécie.

LEONEL (2007) estudou a forma e o tamanho dos grânulos de amidos de diferentes tuberosas, dentre elas a fécula de batata-doce para a qual a faixa de valores médios dos diâmetros dos grânulos foi de 16,10 a 19,40  $\mu\text{m}$ , sendo a forma circular e poliédrica. A fécula de mandioca apresentou diâmetros que variaram entre 14,39 e 17,10  $\mu\text{m}$  e forma circular; para a fécula de araruta a variação nos diâmetros dos grânulos foi de 22,05 a 29,54  $\mu\text{m}$  e formatos circular e oval enquanto a fécula de açafrão, com os grânulos triangulares achatados e valor médio para os diâmetros entre 18,99  $\mu\text{m}$  e 26,10  $\mu\text{m}$ .

HOOVER (2001) encontrou, para a fécula de batata-doce, grânulos de formatos poligonal, oval e redondo, com uma faixa de diâmetro de 2 a 42  $\mu\text{m}$ , de acordo com a variedade e a idade da planta. Segundo FRANCO et al. (2002), os grânulos de fécula de araruta apresentam forma ovoide e diâmetros que variam de 15 a 70  $\mu\text{m}$ . DAIÚTO & CEREDA (2003) afirmaram que o formato dos grânulos de fécula de inhame é regular, elipsoide e ovoide e que o tamanho médio dos diâmetros se manteve entre 13 a 18  $\mu\text{m}$ .

#### **2.2.1.4 - Outros constituintes do amido**

Matéria graxa, proteínas e cinzas, são substâncias componentes da própria planta da qual o amido foi extraído. Sua quantidade no amido depende da composição da planta e do método de extração e purificação. Quanto menor o teor dessas substâncias melhor a qualidade do amido, ou seja, significa que os processos de extração e purificação são mais eficientes (FRANCO et al., 2002).

O amido pode conter baixos teores de substâncias como lipídeos, cinzas e proteínas. Segundo PERONI (2003), as proteínas pouco influenciam as propriedades tecnológicas do amido sendo consideradas, portanto, impurezas, uma vez que não estão ligadas covalentemente aos polissacarídeos formadores do grânulo. Os lipídeos que permanecem nos amidos de cereais são responsáveis pela fixação da cor, desenvolvimento de aromas e complexações que não ocorrem nos amidos de tuberosas, haja vista que nesses, os teores de lipídeos são mais baixos, tornando-os mais neutros e menos sujeitos à complexação e alterações nas propriedades reológicas.

PERONI (2003) analisou características físico-químicas de féculas nativas de diferentes espécies amiláceas, dentre elas o inhame, para a qual se constatou teor de cinzas igual a 0,22 %, proteínas igual a 0,09 % e lipídeos com 0,10 %. Na pesquisa de MISHRA & RAI (2006) foi relatada a presença de lipídeos, proteínas e cinzas, respectivamente, nos seguintes teores 0,51 %, 0,51 % e 0,20 % em fécula nativa de mandioca, 0,32 %, 0,61 % e 0,19 % em fécula nativa de milho e 1,22 %, 1,21 % e 0,36 % em fécula de batata. ARAÚJO (2008) avaliou fécula nativa de batata-doce variedade “Paulista” e relatou teores de cinzas, lipídeos e proteínas iguais a 0,06 %, 0,12 % e 0,35 %, respectivamente.

### **2.2.2 - Propriedades dos amidos**

A escolha de um tipo de amido para determinado fim está condicionada às suas propriedades. Grande parte das propriedades particulares apresentadas por esses carboidratos são dependentes da sua estrutura e, conseqüentemente, de sua origem botânica. Por isso, se faz necessário conhecimento das propriedades do amido tais como: densidade, poder de inchamento, solubilidade, gelatinização, retrogradação, sinérese, claridade da pasta e perfil de textura do gel.

#### **2.2.2.1 - Densidade**

A densidade do amido é um dos fatores que podem influir economicamente na escolha da fonte de amido, sobretudo para a operação unitária de decantação e/ou centrifugação realizada no processo de extração. Quanto maior a densidade do amido menor será o tempo gasto nessas operações. Além disso, o parâmetro densidade também é importante no

dimensionamento de embalagens e equipamentos (SILVA & SILVA 2005; NUNES et al., 2009a).

De acordo com FELLOWS (2006) e SUJKA & JAMROZ (2007), a densidade do amido se situa em torno de  $1,500 \text{ g.cm}^{-3}$ . Conforme Ciacco e Cruz, citados por NUNES et al. (2009a), os valores para densidades da maioria dos amidos variam de 1,40 a  $1,52 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Outros autores reportam, em seus trabalhos, valores de densidade para diferentes fontes de amido. SILVA & SILVA (2005) verificaram valor médio de  $1,528 \text{ g.cm}^{-3}$  para a densidade do amido extraído de banana-nanica verde. Ao extrair e caracterizar a fécula do inhame (*Dioscorea alata*) variedade Caramuju, DURANGO et al. (2009) encontraram densidade com valor de  $1,522 \text{ g.cm}^{-3}$ . NUNES et al. (2009a) obtiveram valores médios de densidade para féculas de três variedades de mandioca. A fécula da variedade Cacau apresentou densidade igual a  $1,584 \text{ g.cm}^{-3}$ , da variedade Manteiga,  $1,508 \text{ g.cm}^{-3}$  enquanto na fécula da variedade Eucalípito o valor foi de  $1,513 \text{ g.cm}^{-3}$ .

#### **2.2.2.2 - Solubilidade e poder de inchamento**

A solubilidade expressa a porcentagem de amido dissolvida após o aquecimento da suspensão. O poder de inchamento é definido como o peso do sedimento intumescido por grama de amido, ou seja, é uma medida da capacidade de hidratação do grânulo de amido (Leach et al. citados por YAMANI, 2010).

De acordo com FRANCO et al. (2002), caso o amido seja adicionado à água fria e mantido sob agitação, ele formará uma suspensão e se separará após o repouso. Apesar de reter uma pequena quantidade de água dentro das regiões amorfas inchando aproximadamente de 10 a 20 % do seu peso seco, esta água pode ser removida por meio de secagem, o que torna o amido praticamente insolúvel em água fria.

Em uma suspensão com temperatura acima do limite de gelatinização, as ligações de hidrogênio da amilose e da amilopectina são rompidas e as moléculas de água se ligam aos grupos hidroxila, que são liberados durante o rompimento das ligações de hidrogênio fazendo

com que os grânulos de amido aumentem de tamanho e solubilizem parcialmente (HOOVER, 2001).

Amidos ricos em amilose apresentam restrita solubilidade e poder de inchamento, conforme SINGH et al. (2003), enquanto a amilopectina contribui para o inchamento dos grânulos, a amilose e os lipídeos são dois constituintes que o inibem.

ZAVAREZE et al. (2009) avaliaram a influência do tratamento térmico com baixo teor de água sobre as propriedades de solubilidade e poder de inchamento do amido de arroz nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C e observaram que o amido nativo de arroz apresentou valores de aproximadamente 6,5; 7,0; 8,5 e 12,5 g.g<sup>-1</sup> de amido nativo, respectivamente, nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C; já os amidos tratados termicamente apresentaram valores de poder de inchamento menores que o amido nativo, em todas as temperaturas estudadas verificando que os valores mais elevados de solubilidade dos amidos foram obtidos a 90 °C, sendo o maior para o amido nativo (cerca de 5 %). ROCHA et al. (2008) também estudaram o poder de inchamento da fécula de duas variedades de mandioca-salsa nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C e relataram que o poder de inchamento do amido proveniente da variedade ASA foi maior que o apresentado pelo amido da variedade AC para todas as temperaturas testadas destacando-se que para a variedade ASA a elevação da temperatura provocou aumento no valor do poder de inchamento de 26,0 g.g<sup>-1</sup>, a 60 °C para 47,0 g.g<sup>-1</sup>, a 90 °C.

### **2.2.2.3 - Gelatinização, retrogradação e sinérese**

Sabe-se que, praticamente, os grânulos de amido são insolúveis em água fria; e contudo, quando se aumenta a temperatura do amido com excesso de água (maior que 60 %), suas moléculas vibram fortemente, rompendo as ligações intermoleculares estabelecendo, assim, ligações de hidrogênio com a água. Isto provoca o inchamento dos grânulos e a viscosidade aumenta pois, à medida em que os grânulos continuam se expandindo eles se aderem uns aos outros ocorrendo a lixiviação da amilose da fase intergranular para a fase aquosa e a suspensão, agora, adquire aspecto de pasta. Se o tratamento térmico for prolongado os grânulos de amido exercerão forte pressão uns contra os outros, o que acarretará seu rompimento e, assim, tem-se a chamada *gelatinização* (FRANCO et al., 2002; SINGH et al., 2003; ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005).



É no hilo que se inicia a gelatinização do grânulo de amido; em seguida, se expande para as regiões mais periféricas, primeiramente nas regiões amorfas, que têm ligações de hidrogênio mais frágeis; logo após as regiões cristalinas são as atingidas pela desorganização estrutural (SINGH et al., 2003).

Devido ao tipo, à heterogeneidade, à cristalinidade, à taxa de aquecimento utilizada e à proporção de amido-água, os grânulos de amido não gelatinizam na mesma temperatura. Os grânulos maiores geralmente gelatinizam primeiro; portanto, a temperatura de gelatinização representa uma soma de eventos particulares e a gelatinização ocorre em uma faixa de temperatura (HOOVER, 2001; SINGH et al., 2003; SANTOS, 2009). Para BUTARELO (2004) é provável que quanto mais fácil a hidratação mais rápida a gelatinização.

Segundo BOBBIO & BOBBIO (2003), para alguns amidos de diferentes fontes botânicas as variações de temperatura de gelatinização estão entre os seguintes valores: milho (62 a 72 °C), arroz (61 a 77 °C), sorgo (68 a 75 °C), trigo (52 a 63 °C), batata (56 a 66 °C) e mandioca (58 a 70 °C). Esses valores podem variar de acordo com a maturação, a variedade, a quantidade de amilose e amilopectina, entre outros fatores. Para DAIÚTO & CEREDA (2003), as temperaturas de gelatinização para as féculas de várias espécies de inhame geralmente são altas podendo variar de 77,5 °C para *Diocorea esculenta* a 82,8 °C para a *Dioscorea alata*.

Quando é armazenado e resfriado, o amido gelatinizado pode sofrer o fenômeno denominado *retrogradação*. Após a gelatinização os polímeros que constituem o amido têm tendência a se reassociar em um estado mais ordenado, através de ligações de hidrogênio. Esta reassociação de amilose, amilopectina e grânulos inchados, forma uma rede tridimensional constituída de zonas muitas vezes cristalinas e outras amorfas (WEBER, 2005; DENARDINI & SILVA, 2009).

A retrogradação é acompanhada pela saída de água do gel formado devido à forte interação das cadeias entre si. Esta expulsão da água do sistema é denominada *sinérese* (ROSALINA & BHATTACHARYA, 2002; DENARDINI & SILVA, 2009). A sinérese é determinada pela quantidade de água liberada dos geis de amido durante o armazenamento. Alimentos que contêm amido e são armazenados por longos períodos, são prejudicados em

razão de fenômeno da retrogradação e, conseqüentemente, da sinérese. SANDHU et al. (2004) estudando geis de amido de milho, verificaram que a retrogradação aumentou com o período de estocagem.

Na determinação da sinérese o processo de retrogradação é acelerado por meio de ciclos de congelamento e descongelamento do gel. LEE et al. (2002) observaram que o gel da fécula de batata-doce perde 71,3 % do seu total de água ao final de três ciclos de congelamento (-18 °C/ 20 horas) e descongelamento (25 °C/ 4 horas).

Estudando a sinérese de três tipos de amido de milho (normal com 27,8 % de amilose, ceroso com 98,2 % de amilopectina e de alto teor de amilose com 71,0 % de amilose) adicionados de goma guar e xantana, WEBER et al. (2008) relataram que sem a adição da goma e da xantana o gel de amido de milho normal liberou 74,45 % de água após ser submetido aos cinco ciclos de congelamento e descongelamento; o gel de amido de milho ceroso liberou 69,55 % de água enquanto foi de 62,72 % a porcentagem de sinérese do amido de milho com alto teor de amilose

#### **2.2.2.4 - Claridade da pasta**

Dependendo do produto obtido a partir do amido, pode ser preferível que a claridade da pasta desse amido seja de maior transparência ou opacidade. Além da origem botânica dos grânulos de amido sua modificação química pode alterar consideravelmente a claridade da pasta (CRAIG et al., 1989).

O aumento na claridade da pasta de amido é consequência direta do intumescimento dos grânulos durante o processo de gelatinização (FRANCO et al., 2002). Segundo MATSUGUMA (2006), amidos com alta tendência a retrogradação produzem pastas mais opacas, visto que a maior compactação das moléculas dificulta a passagem de luz.

Féculas de mandioca, nativa e modificada, foram caracterizadas por APLEVICZ & DEMIATE (2007) ao analisar propriedades como a claridade da pasta e observaram que o polvilho azedo apresentou média de transmitância de 72,37 %. O polvilho doce (amido

nativo) apresentou valores entre 50,70 % e 66,80 % enquanto o amido de mandioca oxidado com peróxido de hidrogênio formou pasta com transmitância de 93,8 %.

MORIKAWA & NISHINARI (2000) reportam que a transparência da pasta para fécula nativa de batata foi de 96 % de transmitância após o processo de gelatinização; com um dia de armazenamento da pasta a 5 °C este valor diminuiu para 59 %, em dois dias reduziu para 39 % e após 21 dias de armazenamento, a transmitância da pasta foi de 16 %.

SAHORÉ et al. (2007) avaliaram, quanto às propriedades funcionais, féculas provenientes de algumas espécies de inhame que foram chamadas de selvagens, originárias da África Ocidental. Os autores encontraram, para claridade da pasta em algumas féculas das espécies estudadas, valores de transmitância após a gelatinização e o valor reduzido após quatro semanas armazenado a 6 °C, respectivamente de 46 e 37 % para a *Dioscorea burkilliana*, 48 e 37 % para a *Dioscorea togoensis*, 36 e 32 % para *Dioscorea praehensilis*.

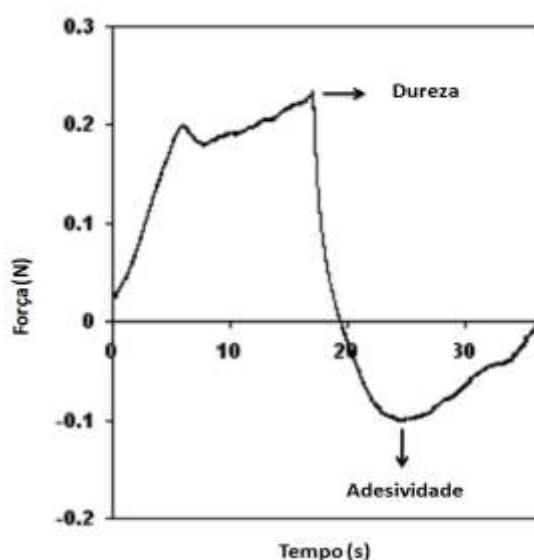
Féculas nativas de quatro espécies de inhame foram analisadas por AMANI et al. (2004). A fécula da *Dioscorea alata* evidenciou valor médio de transmitância para a claridade de pasta de 37,4 %; para a espécie *Dioscorea cayennensis-rotundata* a pasta apresentou 40,7 %, na *Dioscorea esculenta* a transmitância da pasta foi de 24,7 %, enquanto 8,9 % compunham o valor para a pasta de *Dioscorea dumetorum*.

#### **2.2.2.5 - Perfil de textura do gel**

As propriedades de textura dos geis dependem dos constituintes do amido, da amilose, do volume e da deformação dos grânulos (CHOI & KERR, 2003). Após a gelatinização e o resfriamento a pasta de amido tende a aumentar sua firmeza, formando um gel (ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005; SANTOS, 2009)

A dureza do gel é causada, sobretudo pela retrogradação do amido, que é associada à sinérese e à cristalização da amilopectina, tornando o gel mais duro. Amidos que originam geis com maior dureza geralmente possuem maior teor de amilose e longas cadeias de amilopectina (SANDHU & SINGH, 2007; OLIVEIRA, 2007).

O atributo dureza de um alimento é a força necessária para comprimi-lo entre os dentes molares (primeira mordida). Em uma determinação instrumental a dureza de gel de amido é dada em Newton (N) e corresponderia à força máxima necessária para comprimi-lo na primeira compressão realizada por um texturômetro, por exemplo (Figura 2.7). A adesividade é o trabalho necessário para superar as forças de atração entre a superfície de um alimento e a superfície da língua, dentes e mucosas. Em uma análise instrumental a adesividade seria a área negativa na curva, ao final da primeira compressão (Figura 2.7). Este atributo é dado em Newton por segundo (N.s) (KAUR et al., 2007; DRUNKLER, 2009; ZAVAREZE et al., 2010).



**Figura 2.7** - Gráfico gerado em análise instrumental de dureza e adesividade de alimentos  
 Fonte: adaptado de KAUR et al. (2007)

Avaliando o perfil de textura do gel de amido de grão-de-bico, OLIVEIRA (2007) observou que o gel apresentou valores que variaram de 0,72 a 1,00 N para o atributo dureza e de 0,0004 a 0,0012 N.s para a adesividade. KAUR et al. (2007) reportaram valores de dureza na faixa de 0,172 a 0,236 N para geis de féculas nativa de batata e, com relação ao atributo adesividade, os valores verificados variaram entre 0,682 a 0,632 N.s. SANABRIA (2010) verificou que geis de fécula de mandioca, de maca e de mandioquinha, apresentam dureza de 1,096; 4,126 e 0,879 N, respectivamente, e que o gel de fécula de mandioquinha se mostra mais adesivo (1,986 N.s) em relação aos geis de fécula de maca (0,792 N.s) e de mandioca (0,910 N.s).

### **2.2.3 - Amido quimicamente modificado**

Quando extraído dos vegetais, sem alteração, o amido é denominado nativo, com ampla aplicação em diversos setores como a indústria têxtil, de papel, farmacêutica, siderúrgica, plástica e alimentícia (APLEVICZ & DEMIATE, 2007); porém o amido nativo apresenta certas limitações que tornam difícil sua aplicação em determinados produtos que exigem características específicas por sua parte.

A produção de amidos modificados surge como alternativa com a finalidade de superar uma ou mais limitações dos amidos nativos e, assim, aumentar a utilidade deste polímero nas aplicações industriais (SILVA et al., 2006).

As modificações realizadas em amidos podem levar a algumas alterações na propriedade de gelatinização, diminuição da retrogradação, redução da tendência das pastas em formarem geis, aumento da claridade e da estabilidade das pastas quanto à sinérese e melhora na formação de filmes (BEMILLER, 1997).

Os amidos modificados podem ser obtidos por processos físicos, como tratamento térmico e exposição a radiações, ou químico, nos quais são empregados reagentes específicos para alterar sua estrutura química (MATSUGUMA, 2006). Entre as modificações químicas mais utilizadas estão oxidação, esterificação, acetilação e hidrólise ácida (LAWAL et al., 2005).

#### **2.2.3.1 - Amido ácido-modificado**

De forma geral, os amidos ácido-modificados são aqueles tratados em uma solução ácida em temperatura abaixo da temperatura de gelatinização (ZAMBRANO & CAMARGO, 2001). Alguns ácidos inorgânicos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  e  $\text{HCl}$ ) são utilizados no processo de hidrólise de amido que se baseia no fato de que as ligações glicosídicas são estáveis em condições alcalinas podendo, no entanto, ser hidrolisadas em condições ácidas (SINGH & ALI, 2000; SURMELY et al., 2003). Isto devido ao ataque dos íons  $\text{H}_3\text{O}^+$  provenientes dos ácidos aos átomos de oxigênio das ligações glicosídicas (JAYACODY & HOOVER, 2002).

Durante o tratamento ácido a amilose é preferencialmente degradada e de forma mais rápida que a amilopectina, fato este confirmado por JAYACODY & HOOVER (2002), os quais mencionam que a hidrólise do amido ocorre em duas etapas, em que na primeira a velocidade é inicialmente rápida devido à hidrólise das regiões amorfas do grânulo e em seguida o processo ocorre mais lentamente em virtude da hidrólise das regiões cristalinas.

ZAMBRANO & CAMARGO (2001) afirmam que o amido modificado por ácido não apresenta mudanças significativas na sua forma granular e tem sua temperatura de gelatinização aumentada. Segundo CEREDA et al. (2003) e LAWAL et al. (2005), os amidos ácido-modificados apresentam dureza do gel elevados e viscosidade de pasta reduzida em relação aos amidos nativos podendo ser utilizados na indústria têxtil, de papel e de alimentos.

LAWAL et al. (2005) submeteram amido nativo de milho à hidrólise ácida e constataram redução no teor de amilose e no poder de inchamento do amido ácido-modificado em relação ao amido nativo. Efeito contrário foi observado para a solubilidade do amido, que aumentou. Amido nativo de feijão foi modificado por hidrólise ácida em estudo realizado por LAWAL & ADEBOWALE (2005), no qual foi verificado que a solubilidade e a tendência a retrogradação apresentadas pelo amido modificado foram maiores e o poder de inchamento, menor em relação ao amido nativo. Comportamento semelhante pode ser observado por SILVA et al. (2006) que avaliaram amidos nativos e modificados comerciais de diferentes fontes botânicas, entre os quais o amido ácido-modificado de milho que teve as propriedades de solubilidade e poder de inchamento aumentada e reduzida, respectivamente, quando comparado com o amido nativo. No trabalho ainda é relatada, no entanto, a diminuição da temperatura de gelatinização do amido modificado de milho em relação ao amido nativo.

### **2.3 - Secagem**

Secagem é a eliminação da maior parte da quantidade de água de um material sólido, geralmente pela aplicação de calor. No caso dos alimentos nesta definição não estão incluídas operações unitárias como separação mecânica, concentração por membranas e assamento, pois removem menos água do alimento que o processo de secagem (McCABE et al., 2005; FELLOWS, 2006).

O principal objetivo da secagem é a preservação do produto por meio da redução de sua atividade de água que, conseqüentemente, impede a proliferação microbiana, tanto no decorrer do processo como na armazenagem (VILELA & ARTUR, 2008).

### **2.3.1 - Métodos de secagem**

Em virtude da grande variedade de tipos de produtos que devem ser secos por diferentes métodos, vários são os tipos de processos de secagem, de acordo com o estado, as condições e, principalmente, a forma que se deseja dar ao produto. Existem muitos métodos que podem ser utilizados visando fornecer calor para o material em um processo de secagem (PARK et al., 2007).

A secagem por convecção é um dos métodos mais comuns, em que o calor sensível é transferido para o material por convecção. O agente de secagem (ar pré-aquecido) passa sobre ou através do sólido, evaporando a água e transportando-a para fora do secador. Na secagem por condução o calor é fornecido ao material úmido por meio do contato de superfícies aquecidas, que suportam ou confinam o material, tais como: bandejas, placas, cilindros ou paredes de secadores (PARK et al., 2007).

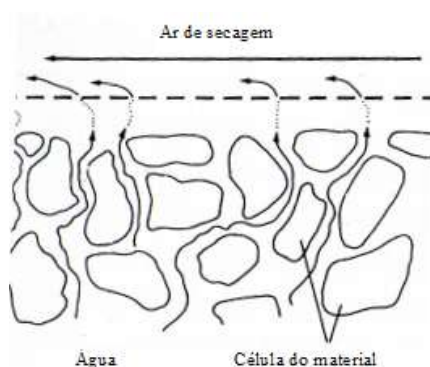
No método de secagem por radiação o calor é fornecido por meio de vários tipos de fonte eletromagnética, a exemplo de radiadores de baixa temperatura e lâmpadas de quartzo de alta temperatura, empregados como fonte de radiação infravermelha. O fato de que a penetração da radiação infravermelha é baixa faz com que a secagem por radiação tenha maior utilização para materiais finos, tais como filmes, pinturas e coberturas (PARK et al., 2007).

A secagem por liofilização consiste em um método baseado na sublimação da água congelada do material colocado em uma câmara de secagem em que a pressão se apresenta abaixo do ponto triplo da água. Em geral a energia requerida é suprida por radiação ou condução de bandejas aquecidas a taxas nas quais a temperatura do material não ultrapasse o valor de 0 °C. Segundo BARUFFALDI & OLIVEIRA (1998), o processo de liofilização ocorre em três etapas: a primeira consiste no congelamento do produto; na segunda etapa a água é sublimada sob pressão reduzida e na terceira etapa a água não congelável é removida

por dessorção, ou seja, por secagem a vácuo. A água sublimada se condensa em placas refrigeradas localizadas em uma câmara do secador longe do material ou em um condensador separado; este método é utilizado quando o material a ser seco não pode ser aquecido, mesmo com temperaturas baixas.

### 2.3.2 - Migração da água

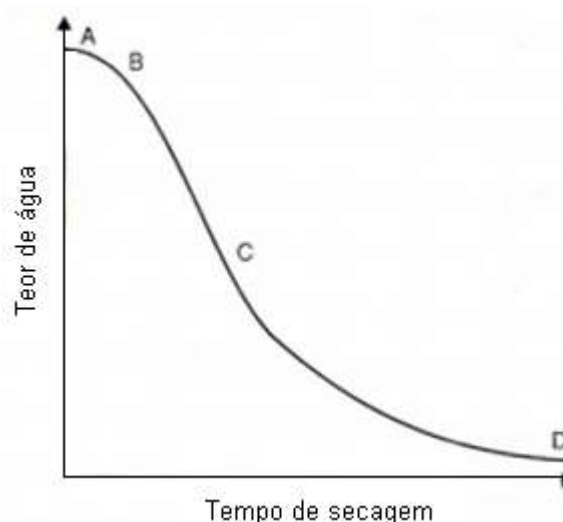
Quando se utiliza o ar quente como agente de secagem, ocorrem transferências simultâneas de calor e massa entre o material e o ambiente que o envolve. A corrente de ar conduz calor ao produto provocando evaporação de grande parte da água nele contida, que será transportada pelo ar seco em movimento (Figura 2.8). Desta forma se estabelece um gradiente de pressão de vapor d'água entre o material úmido e o ar seco, o que promove a “força motriz” para a remoção da água (CAVALCANTI MATA et al., 2006; FELLOWS, 2006).



**Figura 2.8** - Representação esquemática do movimento da água no interior do produto durante o processo de secagem  
Fonte: FELLOWS (2006)

A representação do processo de secagem por meio de uma curva é uma das formas mais simples de se descrever o comportamento da secagem de um material em diferentes condições de operação do secador e teor de água inicial (GERALDI, 2006). Ao serem submetidos à secagem vários materiais biológicos perdem água a uma taxa constante durante o período inicial do processo e este é seguido de uma segunda fase na qual a taxa de secagem é decrescente (Figura 2.9) (BROOKER et al., 1974; CAVALCANTI MATA et al., 2006).





**Figura 2.9** - Comportamento de uma curva típica de secagem

Fonte: FELLOWS (2006)

*- Período de taxa constante*

Segundo FELLOWS (2006), o produto, ao ser colocado em um secador, passa por um curto período de estabilização (trecho A-B na Figura 2.9) no qual a superfície é aquecida até a temperatura de bulbo úmido. De acordo com PARK et al. (2007), a duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem.

A secagem a taxa constante pode ser verificada em produtos nos quais a resistência interna ao transporte de água é menor que a resistência externa à remoção do vapor de água na superfície do produto para o meio no qual está envolto (CAVALCANTI MATA et al., 2006). A fase de taxa constante pode ser observada na secagem de produtos biológicos com teor de água inicial acima de 70 % b.u. (BROOKER et al., 1974).

Em razão da movimentação da água dentro do sólido, sua superfície atinge a temperatura de bulbo úmido do ar de secagem e se mantém saturada. Este período de secagem sob taxa constante continua enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto for suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície (trecho B-C na Figura 2.9) (PARK et al., 2007).

*- Período de taxa decrescente*

Durante o período de secagem sob taxa decrescente (trecho C-D na Figura 2.9), a superfície do produto não se encontra coberta por uma camada fina de água. A taxa de

movimento de água do interior para a superfície do sólido torna-se menor do que a taxa na qual a água evapora para o ar circundante (FELLOWS, 2006). Assim, a taxa de secagem tende a diminuir à medida que o teor de água decresce abaixo do teor de água crítico, que é atingido no momento da passagem do período de taxa constante para o período de taxa decrescente (CAVALCANTI MATA et al., 2006; GERALDI, 2006).

### **2.3.3 - Equações de secagem**

Os mecanismos de migração da água no interior de sólidos podem ser modelados por equações matemáticas que servem para estimar as transferências simultâneas de calor e massa, durante a secagem de sólidos (GERALDI, 2006). Com o objetivo de buscar uma forma de modelar a cinética de secagem do sólido que melhor se ajuste aos dados experimentais existe, na literatura, um grande número de equações teóricas, semiempíricas e empíricas para descrever a cinética de secagem (GUEDES & FARIA, 2000; LEHN & PINTO, 2004).

As equações empíricas não levam em consideração os fundamentos termodinâmicos dos processos de secagem; elas fornecem uma relação direta entre o tempo de secagem e o teor de água do produto (CARLESSO et al., 2005). No entanto, sua validade está restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (CAVALCANTI MATA et al., 2006).

Entre as equações empíricas encontradas na literatura estão a de Page (PAGE, 1949), a de Henderson & Pabis (HENDERSON & PABIS, 1961) e a de Parry (PARRY, 1985) representadas pelas Equações 2.1, 2.2 e 2.3, respectivamente.

$$RX = \exp(-kt^2) \quad (2.1)$$

$$RX = a \exp(-kt) \quad (2.2)$$

$$RX = a \exp(-kt) + c \quad (2.3)$$

em que:

- RX - razão de teor de água, adimensional;  
 t - tempo de secagem, min;  
 k - coeficientes de secagem,  $\text{min}^{-1}$ ;  
 a, b e z - constantes de ajuste das equações.

### 2.3.3.1 - Difusividade efetiva

A difusividade efetiva da água no interior de alimentos pode ser entendida como a facilidade com que a água é removida do material (OLIVEIRA et al., 2006; SILVA, 2010). Esta propriedade é útil tanto na análise das operações de processamento de produtos alimentícios, como para formulação dos modelos físico-matemáticos que explicam o comportamento do alimento durante a secagem.

Em virtude da complexidade dos fenômenos de secagem, tem-se utilizado bastante um modelo teórico baseado na Lei de Fick, a qual expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (Equação 2.4) para estimar o valor médio da difusividade efetiva de água em um sólido.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{\text{ef}} \nabla X) \quad (2.4)$$

em que:

- $D_{\text{ef}}$  - difusividade efetiva,  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ;  
 X - teor de água, base seca;  
 t - tempo, s.

CRANK (1975) propôs uma solução analítica para a Lei de Fick na qual não considera o encolhimento da amostra e assume que a distribuição do teor de água inicial é uniforme e ocorre a ausência de qualquer resistência térmica para uma placa plana infinita (Equação 2.5).

$$RX = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ -(2n+1)^2 \pi^2 D_{\text{ef}} \frac{t}{4l^2} \right] \quad (2.5)$$

em que:

$RX$  - razão de teor de água, adimensional;

$X_t$  - teor de água médio no tempo  $t$ , decimal, base seca;

$X_e$  - teor de água de equilíbrio, decimal, base seca;

$X_0$  - teor de água inicial, decimal, base seca;

$n$  - número de termos da série;

$D_{ef}$  - difusividade efetiva,  $m^2.s^{-1}$ ;

$t$  - tempo, s;

$l$  - metade da espessura da placa, m.

#### **2.3.4 - Secagem de amido**

No processo industrial de extração da fécula de mandioca, por exemplo, é de extrema importância a etapa de secagem, pois prolonga a vida útil facilitando a comercialização da fécula.

A secagem deve ser rigorosamente controlada visto que, de acordo com MARINI et al. (2007), o emprego de temperaturas elevadas na secagem pode afetar as propriedades funcionais da fécula. Segundo GERALDI (2006), elevadas temperaturas de secagem podem dextrinar a fécula (conversão térmica do amido em açúcar), conferindo características indesejáveis ao produto.

Alguns estudos vêm sendo realizados no âmbito da secagem de amido de várias fontes. BENALI (2012) secou amido de ervilha amarela em secadores do tipo “flash-dryer” e leito de jorro com a finalidade de verificar a influência do controle de algumas variáveis de secagem na qualidade do amido de ervilha seco. AICHAYAWANIC et al. (2011) secaram fécula de mandioca com o objetivo de avaliar os mecanismos de aglomeração da fécula durante a secagem por transporte pneumático. DIAS et al. (2007) estudaram a propriedade de expansão de amido de milho e fécula de mandioca modificados, por fermentação e oxidação. Neste trabalho os processos de secagem utilizados foram a secagem solar e a secagem em estufa com circulação de ar. Amido nativo de milho comercial foi pré-gelatinizado e seco em secador do tipo “drum-dryer” em que KARAPANTSIO (2006) estudou os parâmetros de

perda de peso, fluxo de calor e temperatura durante a secagem do gel de amido de milho, na forma de película fina.

## **2.4 - Propriedades de sorção da água**

### **2.4.1 - Tipos de água**

A água é o componente predominante nos alimentos e dependendo da quantidade, influencia significativamente na sua preservação. Pode estar presente sob duas formas: água livre e água ligada (MORETTO et al. 2002).

Parte da água presente em um alimento forma uma monocamada que se fixa em grupos polares como  $\text{NH}_3^+$  e  $\text{COO}^-$  das proteínas e ao  $\text{OH}^-$  dos açúcares. Quando existe um grau de saturação desses grupos a água que, eventualmente, não se une a eles, é denominada água livre. É este tipo de água que funciona como solvente permitindo o desenvolvimento microbiano e de reações químicas e enzimáticas; além disto, pode ser eliminada com relativa facilidade (BOBBIO & BOBBIO, 1992; SALINAS, 2002).

Diferentemente da água livre que apresenta fraca interação com outros nutrientes do alimento, a água ligada interage fortemente com o substrato, por intermédio da formação de ligações de hidrogênio. Assim, a água ligada não é utilizada como solvente no alimento e tampouco proporciona o crescimento de microrganismos como também retarda as reações químicas e enzimáticas (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

Uma das principais características do material que será seco é o teor de água. Este parâmetro é a proporção direta entre a massa de água presente no material e a massa total de matéria (BROD, 2003). O controle do teor de água é fundamental para a qualidade e segurança dos alimentos. O ideal é que as indústrias forneçam alimentos processados com teores de água suficientes para que não causem malefícios à saúde de quem os consumir em determinado prazo de validade (LABUZA & HYMAN, 1998).

A água livre de um produto pode ser controlada por secagem, por solidificação da água através do congelamento, por indisponibilização da água por meio da adição de eletrólitos como o NaCl ou não-eletrólitos como a sacarose (ALVES, 2007).

#### **2.4.2 - Atividade de água**

Os alimentos variam em composição química e mesmo aqueles que apresentam teores de água iguais entre si sofrem alterações de formas distintas. Sendo assim o teor de água apresenta pouca utilidade no que se refere ao julgamento da estabilidade microbiológica de determinado produto (LIMA & SOUSA, 2002; GOULA et al., 2008).

A vida de prateleira de um alimento é determinada pela sua atividade de água ( $a_w$ ), também conhecida como pressão de vapor relativa (PVR). Este parâmetro indica a intensidade das forças que unem a água às componentes não-aquosas e também a água disponível para deterioração dos alimentos por meio da atividade microbiológica, enzimática ou química, expressando, de certa forma, a susceptibilidade do alimento à deterioração (ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005; FELLOWS, 2006).

A água presente nos alimentos exerce uma pressão de vapor que depende da quantidade de água, da concentração de solutos (particularmente sais e açúcar) na água e da temperatura. A atividade de água é definida segundo a Equação 2.6 (AZEREDO et al., 2004).

$$a_w = \frac{P_a}{P_0} \quad (2.6)$$

em que:

$a_w$  - atividade de água, adimensional;

$P_a$  - pressão de vapor do alimento;

$P_0$  - pressão de vapor da água pura na mesma temperatura.

Na realidade, a  $a_w$  é a relação entre a fugacidade do solvente na solução ( $f$ ) e a fugacidade do solvente puro ( $f_0$ ). Por fugacidade entende-se a tendência que um solvente apresenta de escapar de uma solução, porém, a pressão ambiente (considerada baixa), a

diferença entre fugacidade e a pressão de vapor é tão pequena (inferior a 1 %) que, normalmente, se expressa  $a_w$  em termos de pressões (ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005). Ainda segundo os autores, para todos os alimentos o valor de  $a_w$  será sempre menor que 1 pois, não havendo solutos na solução, no caso da água pura, a relação entre as pressões será a unidade. Este decréscimo é explicado pelo fato de que os constituintes químicos presentes na solução imobilizam parcialmente a água diminuindo sua capacidade de evaporação e reatividade química. Portanto, os valores de  $a_w$  variam de 0 a 1, sendo que zero corresponde à ausência de água livre.

Segundo GAVA et al. (2008) e KUROZAWA et al. (2005), quando a água do alimento está em equilíbrio com o ambiente em que se encontra a umidade relativa do ar é igual a cem vezes a  $a_w$ , a uma temperatura constante, conforme Equação 2.7.

$$a_w = \frac{UR}{100} \quad (2.7)$$

em que:

$a_w$  - atividade de água, adimensional;

UR - umidade relativa de equilíbrio do ambiente.

### **2.4.3 - Isotermas de sorção de água**

O teor de água que um material atinge após sua exposição a um ambiente em condições de temperatura e umidade relativa controladas por um período de tempo suficientemente longo é conhecido como teor de água de equilíbrio ou equilíbrio higroscópico (CORRÊA et al., 2002; DUARTE et al., 2006).

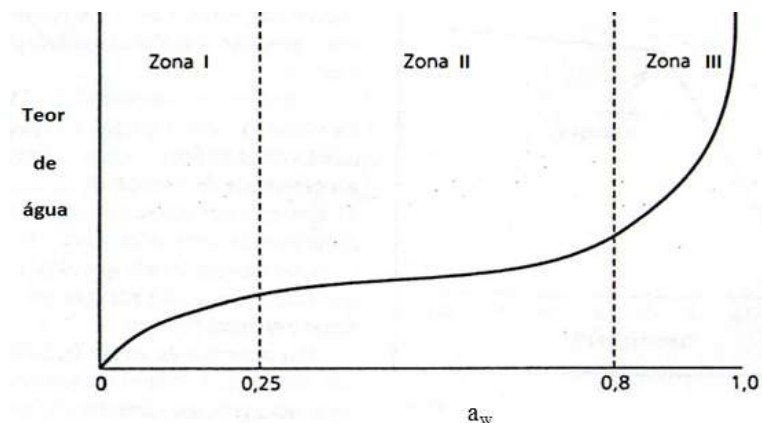
De acordo com CARLOS et al. (2005), higroscopicidade é a capacidade de um alimento absorver água a partir de um ambiente com elevada umidade relativa superior ao teor de água de equilíbrio. Uma maneira de se conhecer o comportamento higroscópico dos produtos alimentícios em pó é através das isotermas de sorção de água que são curvas que descrevem a relação de equilíbrio entre o teor total de água de um alimento e a umidade relativa, a dada temperatura. Esta relação depende de diversos fatores, tais como da estrutura

física da superfície do material, da composição química e da afinidade com a água (COSTA et al., 2003; KUROZAWA et al., 2005).

Conhecer as isotermas de produtos desidratados é essencial para estabelecer condições ideais de conservação, de transformação e do dimensionamento dos equipamentos de secagem e transporte, visto que, por intermédio de isotermas de sorção de água, é possível, por exemplo, conhecer o valor de atividade de água na qual o alimento é estável e determinar as propriedades de barreiras à umidade necessárias para os materiais de embalagem (COSTA et al., 2003; FELLOWS, 2006).

É grande o número de estudos envolvendo equações de sorção de alimentos. Entre os trabalhos realizados pode ser citada a determinação de isotermas de vários alimentos em pó como polpas de frutas e farinhas; além disto, estão sendo estudadas isotermas de amidos e féculas como a de batata, de rizomas de lírio-do-brejo, de milho, do inhame, de semente de pinhão manso, de mandioca e de banana verde (AL-MUHTASEB et al., 2004; ARCHERI et al., 2009; PENG et al., 2007; NUNES et al., 2009b; MUCCILLO, 2009; THYS et al., 2010; COVA et al, 2010; IZIDORO, 2011).

A maioria das isotermas de sorção de água dos alimentos apresenta forma sigmoide, com pequenas variações de acordo com a estrutura física, composição química, temperatura e capacidade de retenção de água do alimento. Conforme a Figura 2.10, em uma isoterma de sorção é possível verificar três zonas que indicam a forma como a água está ligada aos alimentos (FENNEMA, 2000; ORDÓÑEZ PEREDA et al., 2005; FELLOWS, 2006).



**Figura 2.10** - Zonas da isoterma de sorção de água  
Fonte: ORDÓÑEZ-PEREDA et al. (2005)

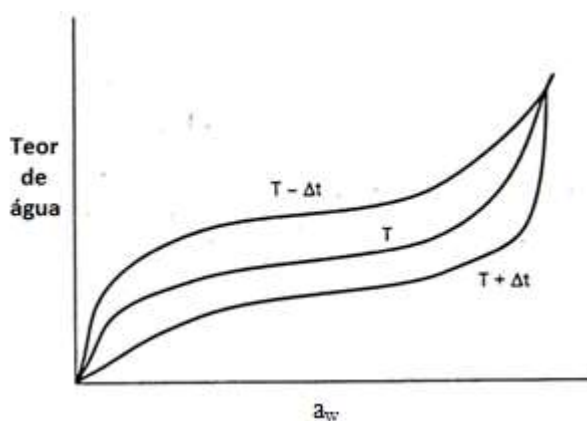


Zona I - indica a água mais fortemente ligada e menos móvel; trata-se da água não removível por secagem, pois está fixa aos grupos polares de certos compostos e corresponde a uma atividade de água ( $a_w$ ) inferior a 0,3 sendo o limite entre as zonas I e II chamado monocamada de BET.

Zona II - corresponde às camadas de hidratação dos constituintes solúveis (sais, açúcares, proteínas). Esta água está ligada por ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo. A água que se adiciona a um alimento com um conteúdo de água no limite das zonas I e II, atua como solvente e promove o inchamento da matriz sólida iniciando processos de dissolução que mobilizará os reagentes e ocasionará uma aceleração da velocidade das reações.

Zona III - é a água menos ligada e de maior mobilidade molecular encontrando-se retida fisicamente em membranas, capilares, geis, etc; pode ser facilmente eliminada por diversos procedimentos; esta água corresponde a valores de  $a_w$  entre 0,8 e 0,99.

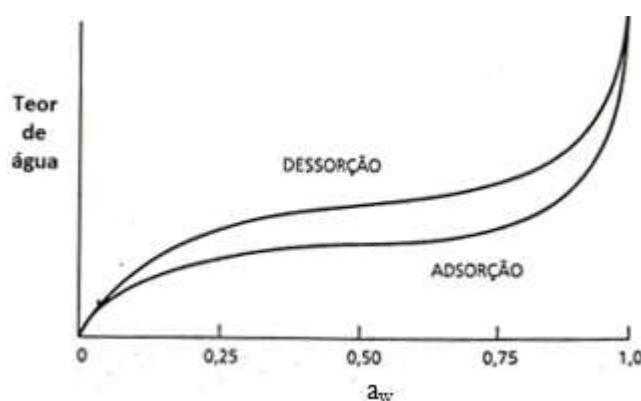
A temperatura é um fator que afeta a mobilidade das moléculas de água e influencia as isotermas de sorção de modo que, de acordo com a Figura 2.11, fixando certo valor de  $a_w$ , verifica-se que o alimento se torna menos higroscópico com a elevação da temperatura. Considerando-se que o teor de umidade permaneça constante, o produto terá sua  $a_w$  aumentada, ou seja, para o mesmo conteúdo em água, a  $a_w$  aumenta à medida que a temperatura se eleva (BARUFFALDI & OLIVEIRA, 1998).



**Figura 2.11** - Efeito da temperatura na isoterma de sorção de água

Fonte: ORDÓÑEZ-PEREDA et al. (2005)

A taxa de mudança da  $a_w$  em uma isoterma pode variar segundo a maneira como o alimento atinge o teor de água de equilíbrio para diferentes condições de temperatura e umidade relativa de equilíbrio, necessárias à construção de uma isoterma. Assim, pode-se ter dois tipos de isotermas de sorção para um mesmo produto a uma temperatura constante: quando o produto atinge o teor de água de equilíbrio por meio de hidratação, tem-se uma isoterma de adsorção; caso a umidade de equilíbrio seja atingida através de secagem, a isoterma obtida será de dessorção. Geralmente uma isoterma de adsorção apresenta valores inferiores aos da isoterma de dessorção como indicado na Figura 2.12. Este fenômeno é conhecido como loop de histerese (AZEREDO et al., 2004; FELLOWS, 2006).



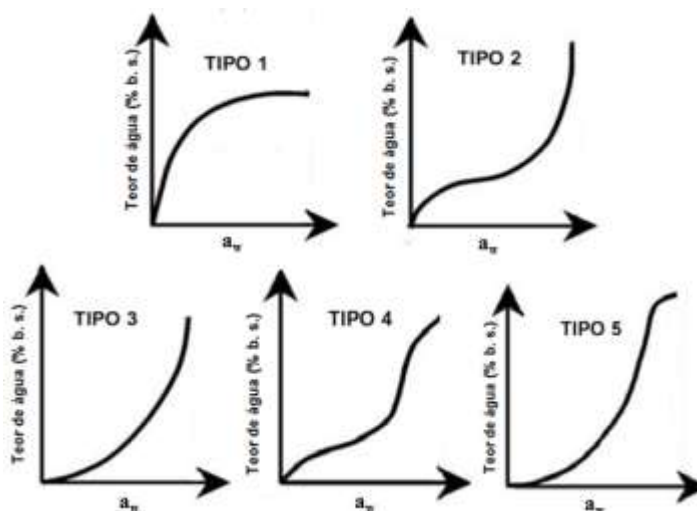
**Figura 2.12** - Histerese das isotermas de sorção de água

Fonte: ORDÓÑEZ-PEREDA et al. (2005)

A histerese na sorção de água ocorre, para um mesmo produto quando existem duas isotermas não coincidentes, sob as mesmas condições, exceto o fato de uma ser obtida por adsorção e outra por dessorção de água (BARUFFALDI & OLIVEIRA, 1998). Este fenômeno está relacionado à existência de uma monocamada molecular chamada monocamada de BET (Brunauer, Emmett, Teller), que representa o conteúdo de umidade no qual o alimento é mais estável (Zona I) (ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005).

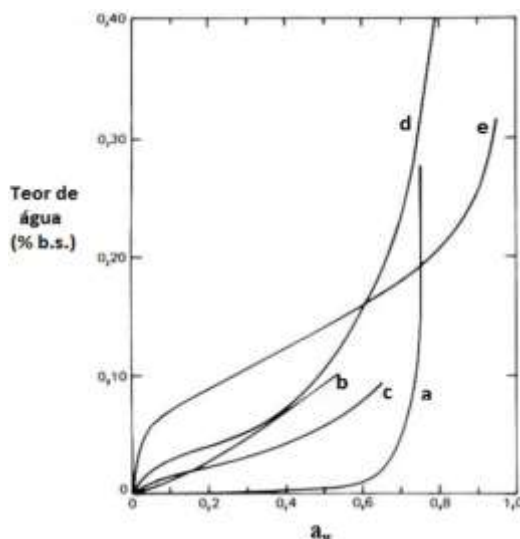
A histerese é importante na determinação da proteção necessária contra o ganho de umidade do alimento (FELLOWS, 2006), em produtos desidratados que necessitam de reidratação para a comercialização pois eles apresentam valores de  $a_w$  ligeiramente superiores aos esperados, tornando-se passíveis de deterioração (ORDÓÑEZ-PEREDA et al., 2005).

Dependendo da natureza do alimento podem ocorrer cinco tipos de isotermas de sorção (Figura 2.13) descritas por Brunauer, Emmet e Teller (BET) em 1938 (MATHLOUTHI & ROGÉ, 2003).



**Figura 2.13** - Tipos de isotermas de sorção, segundo a classificação de B.E.T.  
Fonte: MATHLOUTHI & ROGÉ (2003)

As isotermas do tipo 1 são conhecidas como isotermas de Langmuir e são obtidas pela adsorção de gás na camada monomolecular em sólidos porosos; o tipo 2 é obtido por meio de produtos solúveis; o tipo 3 é chamado de isoterma de Flory-Huggins e é obtido pela adsorção de um solvente abaixo da temperatura de transição vítrea. As isotermas do tipo 4 podem ser obtidas por um sólido hidrofílico, enquanto o tipo 5 descreve a isoterma de adsorção na multicamada de B.E.T. (Brunauer, Emmet e Teller). Segundo MUCCILO (2009), com relação aos produtos alimentícios as isotermas mais encontradas são as dos tipos 2 e 4. Na Figura 2.14 estão apresentados exemplos de isotermas de sorção para alguns alimentos.



**Figura 2.14** - (a) Produto com grande quantidade de sacarose; (b) extrato de chicória liofilizado; (c) café; (d) extrato em pó de pâncreas de suíno; (e) amido de arroz

Fonte: FENNEMA (2000)

#### 2.4.4 - Equações matemáticas de sorção de água

Várias são as equações matemáticas para descrever as isotermas de alimentos; no entanto, não existe uma única equação que apresente resultados precisos que representem toda a faixa de atividade de água para todos os tipos de alimentos (AL-MUHTASEB et al., 2004). Equações como a de Oswin (OSWIN, 1946), Smith (SMITH, 1947) e Peleg (PELEG, 1993) representadas pelas Equações 2.8, 2.9 e 2.10, respectivamente, têm grande aplicação na descrição de isotermas de produtos alimentícios.

$$X_e = a \left[ \frac{a_w}{(1-a_w)} \right]^b \quad (2.8)$$

$$X_e = a + [b \log(1-a_w)] \quad (2.9)$$

$$X_e = k_1 a_w^{n_1} + k_2 a_w^{n_2} \quad (2.10)$$

em que:

$X_e$  - teor de água de equilíbrio, base seca;

$a_w$  - atividade de água, adimensional;

$a$ ,  $b$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  - constantes de ajuste das equações.

## **2.5 - Embalagens plásticas**

As embalagens plásticas são artefatos fabricados a partir de resinas (polímeros), geralmente sintéticas e derivadas do petróleo. O consumo global de plástico ultrapassa os 200 milhões de toneladas com crescimento anual de aproximadamente 5 %. Plásticos derivados de produtos petroquímicos, como polietilenotereftalato (PET), cloreto de polivinilo (PVC), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) e poliamida (PA) são muito utilizados na confecção de embalagens; entretanto, a utilização desses materiais deve ser limitada, pois eles não são totalmente recicláveis e/ou biodegradáveis (SIRACUSA et al., 2008).

No Brasil, apenas 16,5 % dos plásticos produzidos são reciclados, sendo esta limitação decorrente da diversidade das resinas empregadas na fabricação das embalagens, o que dificulta sua separação e reaproveitamento (FIESP, 2007; MALI et al., 2010).

Inúmeros produtos alimentícios são comercializados em embalagens constituídas de diversos materiais, a exemplo das embalagens cartonadas longa vida, que possuem multicamadas de papel, plástico e alumínio. Entretanto, em função da utilização crescente de embalagens semelhantes a essas e da difícil degradação de seus constituintes, seu descarte pode gerar impacto ambiental (NASCIMENTO et al., 2007).

Dentre as matérias-primas renováveis mais promissoras para a produção de embalagens estão os amidos de diversas fontes botânicas, que são biodegradáveis, atóxicos, têm baixo custo em comparação com os plásticos sintéticos e apresentam ampla disponibilidade (DA RÓZ, 2003; MA et al., 2005; MALI et al., 2010).

### **2.5.1 - Biofilmes**

Materiais como biofilmes utilizados como embalagens podem ser produzidos a partir de amidos originários de diversas fontes botânicas utilizando-se, para tanto, diferentes tecnologias. Conforme FAKHOURI et al. (2007) e SILVA et al. (2007), plásticos biodegradáveis, como os biofilmes, podem ser elaborados a partir de biopolímeros como polissacarídeos (amido e seus derivados, alginato, pectina, carragena e celulose e seus derivados), lipídeos (monoglicerídeos acetilados, ácido esteárico, ceras e ésteres de ácido

graxo) e proteínas (gelatina, caseína, ovoalbumina, glútem do trigo, zeína e proteínas miofibrilares).

A obtenção dos biofilmes de amido se baseia no princípio da gelatinização com posterior retrogradação (SILVA et al., 2007; VILA et al., 2007), ou seja, as propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose são as responsáveis pela capacidade do amido para formar filmes. Em consequência da sua linearidade as moléculas de amilose em solução tendem a se orientar paralelamente aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Assim, a afinidade do polímero por água é reduzida favorecendo a formação de filmes resistentes (MALI et al., 2010).

BERTAN (2003) relata que para se elaborar biofilmes são necessários quatro componentes importantes: um agente formador de filme (macromoléculas), solvente (água, etanol, água/etanol, entre outros), plastificante (glicerol, sorbitol, etc.), agente ajustador de pH (ácido acético, hidróxido de amônio, etc.).

Segundo GALDEANO (2007), a utilização de polímeros naturais na elaboração de filmes biodegradáveis pode torná-los quebradiços. Para atenuar essa rigidez é necessária, muitas vezes, a adição de plastificantes na formulação, o que os torna mais flexíveis em virtude dos efeitos de diminuição das forças intermoleculares e do aumento da mobilidade das cadeias poliméricas causadas pelo plastificante. MALI et al. (2010) afirmam que os poliois, como o glicerol e o sorbitol são os plastificantes mais indicados para serem empregados em biofilmes à base de amido.

O glicerol (1,2,3-propanotriol) é reconhecido como seguro para o consumo humano desde 1959 podendo ser utilizado em diversos produtos alimentícios para os mais diversos propósitos (SOARES, 2010).

Dentre os processos empregados para a formação e a aplicação de filmes, a técnica chamada “casting” é bastante difundida. Existe também o processo de extrusão por sopro tubular, muito usado na fabricação de filmes sintéticos (SAKANAKA, 2007; MELO, 2010).

O processo denominado “casting” é definido por SAKANAKA (2007) como sendo a desestruturação do biopolímero e o plastificante em um solvente, o qual é removido em seguida utilizando-se, normalmente, estufas.

FAKHOURI et al. (2007) elaboraram biofilmes compostos de gelatina e amido de sorgo, arroz, trigo e fécula de batata, utilizando sorbitol como plastificante. MALI et al. (2006) obtiveram biofilmes à base de amido de milho, fécula de mandioca e de inhame por “casting”, tendo o glicerol como agente plastificante. Biofilmes a partir de fécula de mandioca e amido de milho também foram obtidos por SHIMAZU et al. (2007) usando os processos de “casting” e extrusão. Neste trabalho os autores fizeram uso do glicerol e do sorbitol como plastificante. Além desses dois coadjuvantes, GALDEANO et al. (2009) utilizaram, ainda, a ureia na confecção de biofilmes de amido de aveia, através da técnica de “casting” e por extrusão.

### **2.5.2 - Propriedades dos biofilmes**

Dependendo do uso ao qual será destinado, são exigidas do biofilme, algumas propriedades. Propriedades como microestrutura, gramatura, espessura, opacidade, solubilidade em água, tensão na ruptura e porcentagem de elongação na ruptura são determinadas por diversos fatores, como o biopolímero e o tipo de plastificante utilizado, além das condições ambientais na fabricação do biofilme (SOBRAL, 2000).

#### **2.5.2.1 - Microestrutura**

A análise da microestrutura é importante para entender as propriedades dos biofilmes, como, por exemplo, a presença de falhas pode afetar as propriedades mecânicas do material (GALDEANO, 2007). De acordo com Cuq et al., citados por MALI et al. (2010), quando se trata de biofilmes de amido a microestrutura e suas propriedades são dependentes do tipo de material utilizado para a produção.

Homogêneos, transparentes e com superfície lisa foram as características apresentadas pelos biofilmes obtidos por LAOHAKUNJIT & NOOMHORM (2004) que utilizaram amido de arroz com glicerol e sorbitol como plastificante. MALI et al. (2002) observaram que os

biofilmes a partir de fécula de inhame e glicerol como plastificante produzidos em sua pesquisa se apresentaram com estrutura lisa, compacta e sem poros. MATTA JR et al. (2011) avaliaram biofilmes obtidos a partir de amido de ervilha de alto teor de amilose em associação com goma xantana e glicerol. Esses biofilmes apresentaram superfícies superiores como uma massa amorfa, com a presença de relevos ou depressões arredondadas os quais, segundo os autores, podem ocorrer devido à presença de alguns grânulos que, por ventura, não tenham sido totalmente gelatinizados.

#### **2.5.2.2 - Gramatura e espessura**

A gramatura de filmes plásticos é definida como a massa de uma determinada área do material, sendo expressa em gramas por metro quadrado ( $\text{g.m}^{-2}$ ). Esta característica está relacionada com a resistência mecânica visto que um filme com maior gramatura oferece uma resistência mecânica mais elevada quando comparado a outro filme com a mesma matéria-prima e menor gramatura (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

A espessura dos filmes é definida como a distância perpendicular entre duas superfícies principais do material (PRATES, 2010), sendo este um parâmetro utilizado como referência na área de embalagens plásticas (MOTA, 2004). A espessura se trata de um importante parâmetro de medida pois assim como a gramatura pode ter influência sobre várias propriedades dos filmes, a exemplo das propriedades mecânicas (XIE et al., 2002).

O controle da espessura dos filmes é imprescindível para se avaliar a uniformidade desses materiais e a validade das comparações entre filmes. Quando se trabalha com soluções diluídas o controle da espessura ocorre através do conhecimento da gramatura do material obtido. Esta técnica exige um controle rigoroso da forma do suporte e do nível da estufa, para evitar diferenças na espessura provocadas por desníveis durante a secagem (MALI et al., 2010). Porém, segundo SOBRAL (1999), este controle é difícil sobretudo nos processos de produção do tipo “casting”.

Variações de gramatura (200 a 500  $\text{g.cm}^{-2}$ ) e de espessura (0,0551 a 0,1279 mm) foram observadas por HENRIQUE et al. (2008) ao estudar filmes biodegradáveis elaborados com amidos modificados de mandioca, pelo processo de “casting”. ALMEIDA (2010)



avaliou o efeito de biofilme formado de blenda de fécula de batata, celulose bacteriana e glicerol na conservação de fruta minimamente processada. A autora obteve biofilmes com gramaturas que variaram entre 78 e 95 g.cm<sup>-2</sup> e valores de espessura variando entre 0,020 e 0,078 mm.

### **2.5.2.3 - Opacidade**

A opacidade de um material está relacionada à sua maior ou menor transparência. A baixa transparência é caracterizada pelo bloqueio da passagem de luz (TAVARES, 2010). Os biofilmes devem apresentar opacidade e coloração atrativas e não devem sofrer alteração de cor com o tempo de armazenamento, para não prejudicar a aceitação do produto acondicionado (DAVANÇO, 2006). Para a elaboração de biofilmes destinados à confecção de embalagens ou, ainda, como cobertura para alimentos, uma transparência maior tende a ser melhor quando se deseja manter as características originais do produto (YANG & PAULSON, 2000).

No trabalho realizado por ALMEIDA (2010) foram avaliados biofilmes formados a partir de fécula de batata, celulose bacteriana e glicerol e a opacidade foi um parâmetro que apresentou considerável variação (6,25 a 23,75 Abs<sub>600</sub>.mm<sup>-1</sup>). TAVARES (2010) elaborou pelo método “casting”, biofilmes a partir de zeína adicionados de argilas modificadas utilizando, na formulação, ácido oleico e glicerol como agentes plastificantes e apontou biofilmes com opacidade que variou entre 5,81 e 6,08 Abs<sub>600</sub>.mm<sup>-1</sup>.

### **2.5.2.4 - Solubilidade em água**

A solubilidade em água é uma propriedade dos biofilmes que pode direcionar sua aplicação como embalagem de produtos alimentícios. Algumas aplicações requerem do biofilme insolubilidade em água para que a integridade do produto seja mantida, como quando o alimento é líquido ou então exsuda uma solução aquosa enquanto em outras aplicações a solubilidade do filme pode ser benéfica a exemplo de produtos semiprontos destinados ao preparo sob cozimento (PEREZ-GAGO & KROCHTA, 2001; FAKHOURI et al., 2007).

Para obter biofilmes de gelatina por meio da técnica de “casting”, D’ÁVILA (2010) utilizou, em suas formulações, gelatina bovina, ácido graxo (ácido esteárico), surfactantes (Tween 20 e 80), conservante (benzoato de sódio) e plastificante (glicerol). Durante a pesquisa, a autora verificou biofilmes com 16,83 % de solubilidade em água quando utilizou apenas gelatina e glicerol como componentes formadores do filme além de variação de solubilidade em água (24,80 a 78,49 %) conforme a formulação do biofilme quando se fez uso de ácido esteárico.

Fécula de batata, celulose bacteriana e glicerol, deram origem a biofilmes estudados por ALMEIDA (2010), que relatou valores de solubilidade em água dos biofilmes variando entre 28,60 e 86,2 %.

#### **2.5.2.5 - Tensão e porcentagem de elongação na ruptura**

As propriedades mecânicas de biofilmes são importantes para sua utilização como embalagem em decorrência do manuseio ao qual estão sujeitos os produtos que serão embalados. Filmes empregados como embalagem de alimentos devem ser resistentes à ruptura e abrasão, para que possam reforçar a estrutura do alimento e facilitar seu manejo, além de serem flexíveis para que não rompam durante as possíveis deformações sofridas (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

A capacidade dos materiais de deformar, reversível ou irreversivelmente e de resistir à fratura, pode definir suas propriedades mecânicas (CASARIN, 2004). As principais propriedades mecânicas dos filmes são a resistência à tração, que expressa a tensão máxima desenvolvida (tensão na ruptura) pelo filme durante um teste de tração, e a elongação, que é a capacidade máxima do filme em esticar. A resistência à tração é medida pela força máxima de tração que o filme pode suportar. Elongação é geralmente tirada do ponto de quebra no teste de tração, sendo expressa como percentual de aumento do comprimento original da amostra (DAVANÇO, 2006).

FAKHOURY et al. (2012) trabalharam com biofilmes originados de amido nativo e modificado de mandioca e gelatina em diferentes proporções, além de glicerol e sorbitol, como plastificantes. Valores mais elevados para porcentagem de elongação na ruptura foram

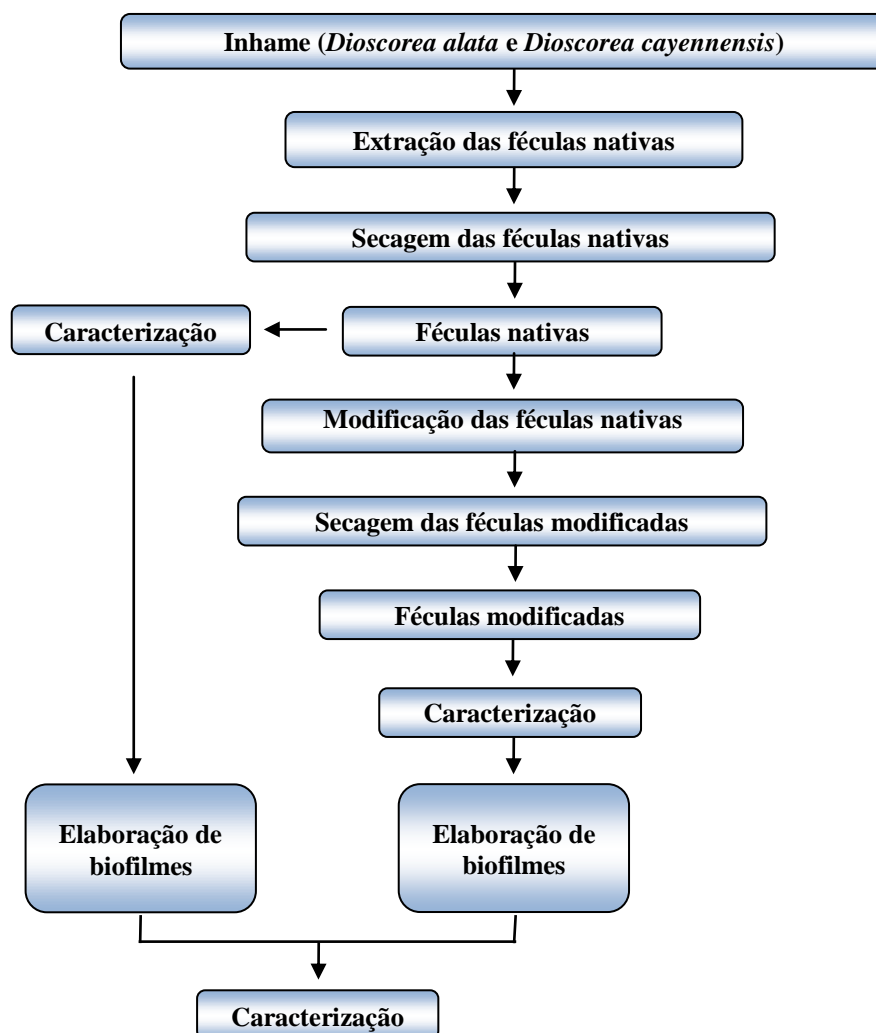
observados para os biofilmes feitos com fécula modificada de mandioca (entre 4,15 e 7,07 %) quando comparados com aqueles feitos com fécula nativa de mandioca (entre 3,87 e 6,60 %) nas mesmas proporções. Filmes à base de farinha de amaranto e glicerol com tensão na ruptura de 2,34 N e porcentagem de elongação igual a 15,62 % foram elaborados por TAPIA-BLÁCIDO et al. (2005).

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1- Matéria-prima

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - PB.

As espécies de inhame (*Dioscorea alata* variedade São Tomé e *Dioscorea cayennensis* variedade Da Costa) foram adquiridas no comércio da cidade de Campina Grande. As etapas do processamento dos tubérculos para o isolamento e a modificação química das féculas de inhame com posterior desenvolvimento de biofilmes estão expostas no fluxograma da Figura 3.1.



**Figura 3.1-** Representação do processo de obtenção das féculas de inhame com posterior elaboração de biofilmes

### 3.2 - Processamento dos tubérculos de inhame

#### 3.2.1 - Extração da fécula nativa

A extração da fécula de cada espécie de inhame foi procedida conforme metodologias propostas por DAIÚTO & CEREDA (2003) e BORBA et al. (2005) com algumas modificações e adaptações quanto ao tempo de branqueamento do inhame e ao meio no qual se realizou a filtração e em referência ao tempo e temperatura de decantação do material triturado. Os tubérculos selecionados de acordo com sua firmeza, ausência de danos mecânicos e microbiológicos, foram lavados em água corrente para retirada de detritos, tais como terra e demais corpos estranhos; posteriormente, foram imersos em solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm para assepsia; em seguida, descascados de forma manual e submetidos a uma segunda lavagem com a finalidade de eliminar as sujidades remanescentes do descascamento; enfim, para evitar o escurecimento enzimático os tubérculos foram branqueados por imersão em solução de bissulfito de sódio (0,5 %) até o momento da trituração.

Os tubérculos foram cortados em partes menores, com aproximadamente 3,0 cm<sup>3</sup>, para facilitar a trituração em liquidificador com 600 W de potência, juntamente com a solução de NaOH 0,03 mol.L<sup>-1</sup> na proporção de 1:2 (massa de inhame : massa de solução). Por cerca de 4 minutos o material foi triturado e em seguida filtrado com o auxílio de tecido organza (com abertura da malha próxima a 100 mesh) e decantado sob ambiente refrigerado (10 °C) por durante 15 horas. Após este período o sobrenadante foi descartado e o material sedimentado foi ressuspenso em água destilada formando uma nova suspensão. Para evitar degradação da fécula esta suspensão foi neutralizada com solução de HCl 0,1 eq.L<sup>-1</sup> até pH próximo a neutralidade (7,0); após esta neutralização a suspensão de fécula foi submetida a decantação seguida de centrifugação (3000 rpm durante 3 min) para que a purificação da fécula fosse eficiente. O procedimento de suspensão, decantação e descarte da fécula, foi efetuado ainda em ambiente refrigerado até que o produto apresentasse cor e textura características de fécula hidratada e decantada.

A massa total triturada foi de aproximadamente 29,0 kg de inhame *Dioscorea alata* variedade São Tomé e 26,5 kg de inhame *Dioscorea cayennensis* variedade Da

Costa descascados e que apresentaram valores de teor de água médios de 77,39 e 68,69 % (b.u.), respectivamente.

### **3.2.2 - Cinética de secagem da fécula nativa**

Bandejas circulares em alumínio com 1,8 cm de altura e 17,3 cm de diâmetro contendo uma camada de aproximadamente 5,0 mm de espessura de fécula nativa foram colocadas em estufa com circulação de ar a 30, 40 e 50 °C e pesadas em diferentes intervalos de tempo (5, 10, 15, 20, 30, 45, 60 e 120 minutos) durante 24 horas, para o acompanhamento da perda de peso das amostras no processo de secagem (SHIRAI et al., 2007). Em seguida a este procedimento, foram obtidas as féculas nativas de inhame variedade São Tomé (FNST) e as féculas nativas de inhame variedade Da Costa (FNDC) as quais foram resfriadas a temperatura ambiente, maceradas e acondicionadas sob vácuo para posterior utilização. Observou-se para qual das temperaturas de secagem a fécula teria menor teor de água ao final do procedimento; esta temperatura foi, então, escolhida para a realização da secagem de toda a fécula utilizada nos demais procedimentos que se seguiram.

Os dados coletados durante este procedimento foram utilizados para obtenção das curvas de secagem relacionando a razão de teor de água em função do tempo de secagem para cada uma das três temperaturas. As equações matemáticas de Page, de Henderson & Pabis e de Parry, representadas pelas Equações 2.1, 2.2 e 2.3, respectivamente, foram ajustados aos dados experimentais da secagem por meio do software Statistica®, versão 8.0 (STATSOFT, 2008) utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton; de forma semelhante, a solução analítica da Equação de Fick (Equação 2.5) foi utilizada tanto para a verificação do ajuste aos dados experimentais como para a estimativa da difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ). Para isto foram considerados somente os três primeiros termos da série visto que em análises preliminares, se observaram melhores ajustes da Equação de Fick aos dados experimentais das secagens quando se fez uso dos três termos; além disto, a diferença em relação ao ajuste foi mínima quando se utilizou um número maior de termos nos cálculos.

Como critérios para seleção da melhor equação que prediga o teor de água das féculas durante a secagem, foram considerados a magnitude do coeficiente de

determinação ajustado ( $R^2$ ) dado pelo software e o desvio quadrático médio (DQM) calculado pela Equação 3.1. Para um bom ajuste matemático P deve ser inferior a 10 % e  $R^2$  próximo à unidade (MOHAPATRA & RAO, 2005).

$$DQM = \sqrt{\frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^N (RX_{pre_i} - RX_{exp_i})^2} \quad (3.1)$$

em que:

DQM - desvio quadrático médio;

$RX_{pre}$  - razão de teor de água predita pela equação;

$RX_{exp}$  - razão de teor de água experimental;

$N_e$  - número de dados experimentais.

### 3.2.3 - Rendimento de extração da fécula nativa

O rendimento prático ( $R_p$ ) da extração foi calculado como porcentagem de massa de fécula nativa obtida em relação à massa bruta de tubérculos triturada, com seu teor de água original por meio da Equação 3.2.

$$R_p = \frac{m_a}{m_{it}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

em que:

$R_p$  - rendimento prático, %;

$m_a$  - massa de fécula nativa obtida após a secagem, g;

$m_{it}$  - massa de inhame triturado, g.

Calculou-se o rendimento da extração, em termos de matéria seca ( $R_{MS}$ ) como porcentagem da quantidade de matéria seca da massa de fécula nativa obtida em relação à quantidade de matéria seca da massa de tubérculos triturada, conforme a Equação 3.3.

$$R_{MS} = \frac{C_a \cdot m_a}{C_i \cdot m_{it}} \cdot 100 \quad (3.3)$$

em que:

$R_{MS}$  - rendimento em termos de matéria seca, %;

$m_a$  - massa de fécula nativa obtida após a secagem, g;

$m_{it}$  - massa de inhame triturado, g;

$C_a$  - teor de matéria seca da fécula nativa obtida após a secagem, %;

$C_i$  - teor de matéria seca do inhame triturado, %.

### **3.3 - Modificação química das féculas nativas**

As féculas modificadas foram obtidas por meio do método descrito por CEREDA et al. (2003). A modificação química foi realizada através de tratamento ácido (hidrólise ácida). Cerca de 100g das féculas nativas foram homogeneizados em 500 mL de solução de ácido clorídrico 0,5 mol.L<sup>-1</sup> a temperatura de 50 °C, sob agitação mecânica constante durante três horas; após a hidrólise o pH da suspensão resfriada foi ajustado para aproximadamente 7,0, com solução de NaOH 1,0 eq.L<sup>-1</sup>; a fécula foi, em seguida, recuperada por meio de sucessivas lavagens com água destilada e decantações, em ambiente refrigerado (10 °C).

As féculas modificadas foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 30, 40 e 50 °C; após a secagem foram obtidas as féculas modificadas de inhame variedade São Tomé (FMST) e variedade Da Costa (FMDC), assim como para as féculas nativas, apenas aquela que apresentou o menor teor de água em função da temperatura ao final da secagem foi utilizada para continuação dos experimentos.

### **3.4 – Cinética de secagem das féculas quimicamente modificadas**

A cinética de secagem das féculas modificadas foi realizada conforme as condições descritas no item 3.2.



### **3.5 - Caracterização das féculas nativas e modificadas**

#### **3.5.1 - Caracterização físico-química**

Conforme metodologias propostas pelo IAL (2005) foram determinados os seguintes parâmetros: teor de água, cinzas, pH, acidez, proteína e amido. O teor de lipídeos foi verificado conforme FOLCH et al. (1957) e o teor de amilose de acordo com MARTINEZ & CUEVAS (1989).

#### **3.5.2 - Forma e tamanho dos grânulos**

Por meio da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) obteve-se as fotomicrografias a partir das quais foram apresentadas as formas e os tamanhos ( $\mu\text{m}$ ) dos grânulos das féculas nativas e modificadas. As imagens foram obtidas com aumento de 100 vezes; uma pequena quantidade de amostra foi suspensa em acetona P.A. e fixada no porta-amostra metálico (“stubs”); este, por sua vez, foi levado a um metalizador modelo SC - 701 da Sanyu Electron para aplicação de uma fina camada de ouro; as amostras assim preparadas foram observadas em microscópio eletrônico de varredura, modelo SSX - 550 - Superscan Scanning Microscope da Shimadzu, operando sob tensão de 25kV localizado no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Para cada tipo de fécula foram feitas 210 medidas dos grânulos para obtenção do cálculo da distribuição de frequência enquanto a forma dos grânulos foi identificada visualmente.

#### **3.5.3 - Densidade**

A densidade das féculas foi determinada por deslocamento de líquido em picnômetro de 25 mL a 25 °C, conforme SCHOCH & LEACH (1964).

#### **3.5.4 - Solubilidade em água e poder de inchamento**

A solubilidade em água e o poder de inchamento das féculas foram determinados nas temperaturas de 30, 40, 50, 60, 70 e 80 °C, conforme método de Leach et al. descrito por ZAVAREZE et al. (2009). Uma massa de 1,0 g de amostra foi dispersa em 50 mL de

água destilada aquecida, cuja suspensão foi colocada em tubos de 50 mL e aquecida por 30 minutos na temperatura de trabalho e, em seguida, centrifugada a 4000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi coletado e seco em estufa a  $105 \pm 2$  °C, até peso constante para quantificação da fração solúvel. A solubilidade em água foi calculada pela relação da massa solúvel e a massa inicial de fécula expressa em porcentagem (Equação 3.4). Os tubos contendo os grânulos de amido intumescidos foram pesados para determinar o poder de inchamento por intermédio da relação da massa final intumescida pela massa inicial de fécula, segundo a Equação 3.5.

$$SA = \frac{m_r}{m_{am}} \cdot 100 \quad (3.4)$$

em que:

SA - solubilidade em água, %;

$m_{am}$  - massa da amostra, g;

$m_r$  - massa do resíduo da evaporação, g.

$$PI = \frac{p}{m_{am} - m_r} \quad (3.5)$$

em que:

PI - poder de inchamento, g.g de fécula<sup>-1</sup>;

$m_{am}$  - massa da amostra, g;

$m_r$  - massa do resíduo da evaporação, g;

p - massa da fécula intumescida, g.

### 3.5.5 - Temperatura de gelatinização

Os valores das temperaturas iniciais ( $T_0$ ), temperaturas de pico ( $T_p$ ) e as temperaturas de conclusão de gelatinização ( $T_c$ ), além das variações de entalpia ( $\Delta H$ ) das féculas foram determinados por meio de calorimetria exploratória diferencial (DSC) durante o aquecimento. Cerca de 3 mg da amostra foram pesados em cápsula de alumínio e 14 µL de água deionizada adicionada (GOMES et al., 2005). Após 30 minutos em repouso para equilibrar a amostra as cápsulas foram hermeticamente seladas, sendo uma

cápsula vazia utilizada como referência. Utilizou-se um equipamento DSC Q20 da TA Instruments pertencente ao Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A amostra foi submetida a um programa de aquecimento de 30 a 200 °C na velocidade de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup>, em atmosfera de nitrogênio com fluxo de 100 mL.min<sup>-1</sup>.

### **3.5.6 - Sinérese**

A sinérese foi determinada pelo método de White, Abbas & Johnson citados por SCHMITZ (2004). Preparou-se uma suspensão a 5 % de amido, aquecida a 100 °C sob agitação por 20 minutos. Em tubos de Falcon foram adicionados 10 mL da suspensão aquecida (o peso desta alíquota era conhecido) e congelados a -18 °C; 24 horas depois as amostras foram descongeladas por 1,5 hora a 30 ± 2 °C em banho-maria e centrifugadas a 6000 rpm durante 30 minutos; o líquido sobrenadante foi então pesado e o tubo foi novamente submetido a -18 °C sucessivamente até a formação de seis ciclos de congelamento e descongelamento; enfim, o cálculo da sinérese foi realizado conforme a Equação 3.6.

$$S = \frac{m_{H_2O}}{m_i} \cdot 100 \quad (3.6)$$

em que:

S - sinérese, %;

$m_{H_2O}$  - massa do líquido sobrenadante, g;

$m_i$  - massa inicial da amostra, g.

### **3.5.7 - Claridade da pasta**

A claridade da pasta das féculas foi determinada por transmitância (%  $T_r$ ) segundo CRAIG et al. (1989) e MORIKAWA & NISHINARI (2000). Uma suspensão de fécula em água destilada na concentração de 1,0 % (massa/volume) foi totalmente gelatinizada. A pasta foi agitada e resfriada em temperatura ambiente e sua transmitância determinada a 650 nm utilizando-se um espectrofotômetro digital modelo UV-1000 A da Instrutherm. A

pasta foi armazenada em ambiente refrigerado (5 °C) pelo tempo de 16 dias, sendo as leituras de transmitância realizadas a cada 8 dias.

### **3.5.8 - Perfil de textura do gel**

Para a análise de textura dos geis de féculas de inhame utilizou-se um texturômetro, modelo TA.XT.plus da Stable Micro Systems. Suspensões de cada uma das féculas em água destilada nas concentrações de 2, 4, 6, 8 e 10 % foram totalmente gelatinizadas. Cerca de 40 mL da pasta foram transferidos para béckers com capacidade de 50 mL, cada um e resfriados em temperatura ambiente por 24 horas; em seguida, os geis formados nos béckers foram diretamente submetidos à análise no texturômetro para avaliação dos atributos de dureza e adesividade. Cerca de 15 mm de profundidade da amostra foram analisados em um único ciclo de perfuração fazendo-se uso do probe cilíndrico P/0,5 e plataforma HDP/ 90, com velocidade pré-teste, teste e pós-teste, respectivamente, iguais a  $1,0 \text{ mm.s}^{-1}$ ,  $0,5 \text{ mm.s}^{-1}$  e  $10 \text{ mm.s}^{-1}$ . As análises foram procedidas com cinco repetições obtendo-se, em seguida, uma curva média de força versus tempo para cada gel.

### **3.5.9 – Isotermas de sorção de água**

O comportamento higroscópico das féculas nativas e modificadas foi avaliado por meio da obtenção de isotermas de sorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C. Cerca de 1,0 g da amostra foi colocado em cadinho apropriado que permaneceu dentro de um recipiente de vidro tampado, no qual continha água destilada na temperatura de estudo. O conjunto (recipiente fechado + cadinho + amostra) foi mantido em câmara do tipo B.O.D. (Biological Oxygen Demand) para que a temperatura da amostra fosse equilibrada com o ambiente. Em intervalos regulares de tempo foram determinadas a atividade de água da amostra com auxílio do equipamento Aqualab, modelo 3 TE da Decagon e a massa da amostra, em balança semianalítica; a seguir, a amostra foi submetida à temperatura de 105 °C até peso constante para determinação do teor de água de equilíbrio.

Aos dados experimentais das isotermas de sorção das féculas foram ajustadas as equações de Oswin, Smith e Peleg, representadas pelas Equações 2.8, 2.9 e 2.10, respectivamente. O software Statística®, versão 8.0 (STATSOFT, 2008) foi utilizado no ajuste das equações matemáticas aos dados experimentais por meio da análise de regressão

não linear, pelo método Quasi-Newton, sendo o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P) dado pela Equação 3.7, adotados como critério de seleção para o melhor ajuste.

$$P = \frac{100}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} \frac{|\gamma_e - \gamma_t|}{\gamma_e} \quad (3.7)$$

em que:

P - desvio percentual médio, %;

$N_e$  - número de dados experimentais;

$\gamma_e$  - valor experimental;

$\gamma_t$  - valor teórico.

### 3.6 - Elaboração dos biofilmes

Os biofilmes foram elaborados utilizando-se a técnica do tipo “casting”. Soluções filmogênicas (SF) foram estudadas com 3 % de fécula (3 g de fécula/100 mL de água destilada) e duas diferentes concentrações de glicerol em relação à quantidade de fécula (20 e 30 %). Após serem aquecidos sob agitação constante até completa gelatinização (acima de 97 °C), cerca de 5 g da solução filmogênica foram colocados em placas de Petri descartáveis em poliestireno (90 mm de diâmetro x 6,6 mm de altura) e secas em estufa a 40 °C, por 48 horas (MALI et al., 2006). Os biofilmes foram, então, estabilizados a temperatura ambiente durante 24 horas e embalados sob vácuo parcial para posteriores análises.

### 3.7 - Caracterização dos biofilmes

#### 3.7.1 - Microestrutura

As imagens da superfície dos biofilmes foram obtidas por microscopia eletrônica de varredura, com aumentos de 100 e 1000 vezes. Pequenas porções dos biofilmes foram fixadas no porta-amostra metálico (“stubs”) do microscópio. Após o processo de metalização em metalizador modelo SC - 701 da Sanyu Electron, a superfície das amostras

foi observada em microscópio eletrônico de varredura, modelo SSX- 550 - Superscan Scanning Microscope da Shimadzu operando sob tensão de 15kV, pertencente ao Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

### **3.7.2 - Gramatura**

A gramatura foi determinada através da pesagem de uma determinada área do biofilme em balança analítica, utilizando-se a Equação 3.8 (HENRIQUE et al., 2008).

$$G = \frac{m_{\text{bio}}}{A_{\text{bio}}} 10000 \quad (3.8)$$

em que:

G - gramatura, g.m<sup>-2</sup>;

m<sub>bio</sub> - massa do biofilme, g;

A<sub>bio</sub> - área do biofilme, cm<sup>2</sup>.

### **3.7.3 - Espessura**

Mediu-se a espessura dos filmes com o auxílio de um micrômetro digital da ZAAS Precision com precisão de 0,001 mm; a espessura foi considerada como sendo a média aritmética de 22 medidas aleatórias sobre a área do biofilme (DAVANÇO, 2006; FAKHOURI et al., 2007; HENRIQUE et al., 2008).

### **3.7.4 - Opacidade**

As amostras foram tomadas na forma de retângulo de cada biofilme, que foram aderidas à parede interna de uma cubeta de quartzo e determinada sua absorbância na faixa de comprimento de onda da luz visível em 600 nm através de um espectrofotômetro digital modelo T-2000 da TEKNA (YANG & PAULSON, 2000; PARK & ZHAO, 2004). A opacidade dos biofilmes foi calculada conforme a Equação 3.9.

$$O_p = \frac{A_{600}}{E} \quad (3.9)$$

em que:

$O_p$  - opacidade,  $A_{600} \cdot \text{mm}^{-1}$ ;

$A_{600}$  - absorvância,  $A_{600}$ ;

E - espessura do biofilme, mm.

### 3.7.5 - Solubilidade em água

A análise de solubilidade (SA) em água dos biofilmes foi obtida de acordo com o método proposto por Gontard et al. e descrito por DAVANÇO (2006). Inicialmente, três discos de cada amostra de filme com 2 cm de diâmetro foram imersos em 50 mL de água destilada, mantidos sob agitação (125 rpm) em uma mesa agitadora orbital digital modelo SL 180/D da SOLAB por 24 horas, a temperatura ambiente. Os fragmentos de biofilme restante foram então retirados do banho e secos em estufa (105 °C/24 h) para sua determinação da massa seca final; o cálculo da solubilidade foi realizado segundo a Equação 3.10.

$$SA = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100 \quad (3.10)$$

em que:

SA - porcentagem de material solubilizado, %;

$m_i$  - massa inicial da amostra, g;

$m_f$  - massa final da amostra, g.

### 3.7.6 - Tensão e porcentagem de elongação na ruptura

A tensão na ruptura dos biofilmes foi determinada utilizando-se um texturômetro Modelo TA.XT.plus da Stable Micro Systems através da norma ASTM D882-10 (ASTM, 2010). As amostras foram cortadas com as seguintes dimensões: 75 mm de comprimento e 25 mm de largura. A distância inicial de separação das garras e a velocidade de realização do teste foram fixadas em 35 mm e 3 mm.s<sup>-1</sup>, respectivamente. A tensão na ruptura foi calculada dividindo-se a força máxima no rompimento do biofilme, pela área de secção transversal, de acordo com a Equação 3.11.

$$TR = \frac{F_m}{A} \quad (3.11)$$

em que:

TR - tensão na ruptura, MPa;

$F_m$  - força máxima no momento da ruptura do filme, N;

A - área de secção transversal,  $m^2$ .

A elongação na ruptura dos biofilmes foi determinada dividindo-se a distância final de separação do “probe” pela distância inicial de separação (35 mm), multiplicada por 100, conforme a Equação 3.12 (GALDEANO, 2007; ASTM, 2010).

$$E_l = \frac{d_r}{d_0} \cdot 100 \quad (3.12)$$

em que:

$E_l$  - elongação na ruptura, %;

$d_0$  - distância inicial de separação, cm

$d_r$  - distância no momento da ruptura, cm = diferença entre a distância de separação no momento da ruptura e a distância inicial.

### 3.8 - Delineamento experimental

Os resultados referentes à caracterização das féculas foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (nível de significância de 5 %) com o auxílio do software ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA & AZEVEDO, 2009).

Para os biofilmes os dados foram analisados conforme delineamento inteiramente casualizado com, no mínimo, três repetições e os fatores foram dispostos em esquema fatorial ( $2 \times 2 \times 2$ ), sendo esses três fatores constituídos por duas variedades do inhame (São Tomé e Da Costa), dois tipos de fécula (nativa e modificada) e duas concentrações de glicerol (20 e 30 %).



## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

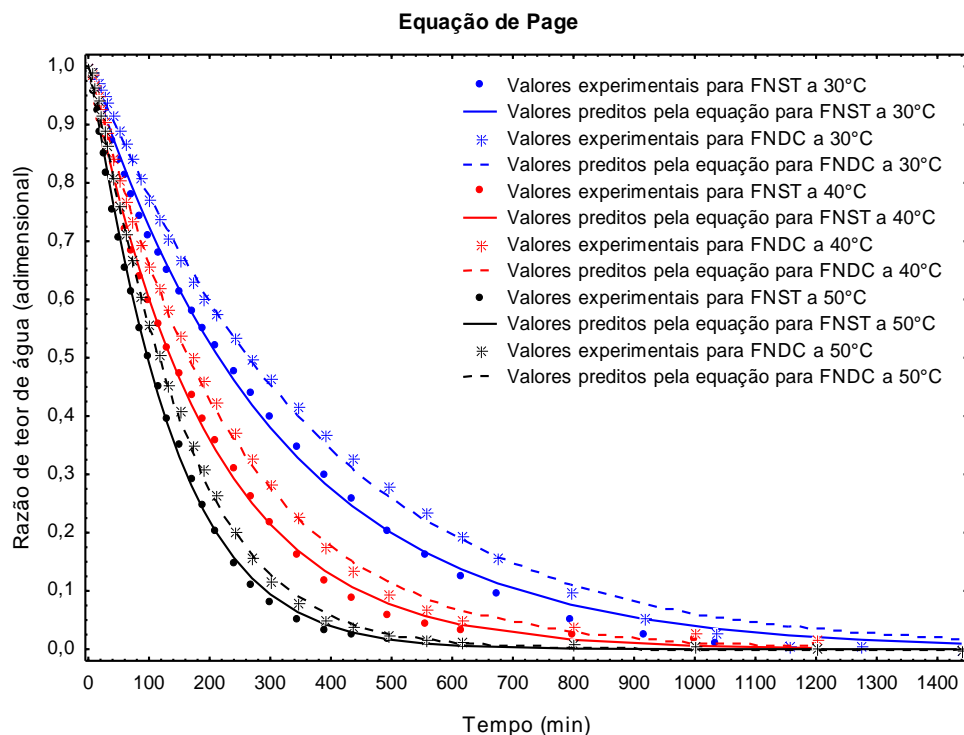
### **4.1 - Processamento dos tubérculos de inhame**

#### **4.1.1 - Cinéticas de secagem das féculas nativas**

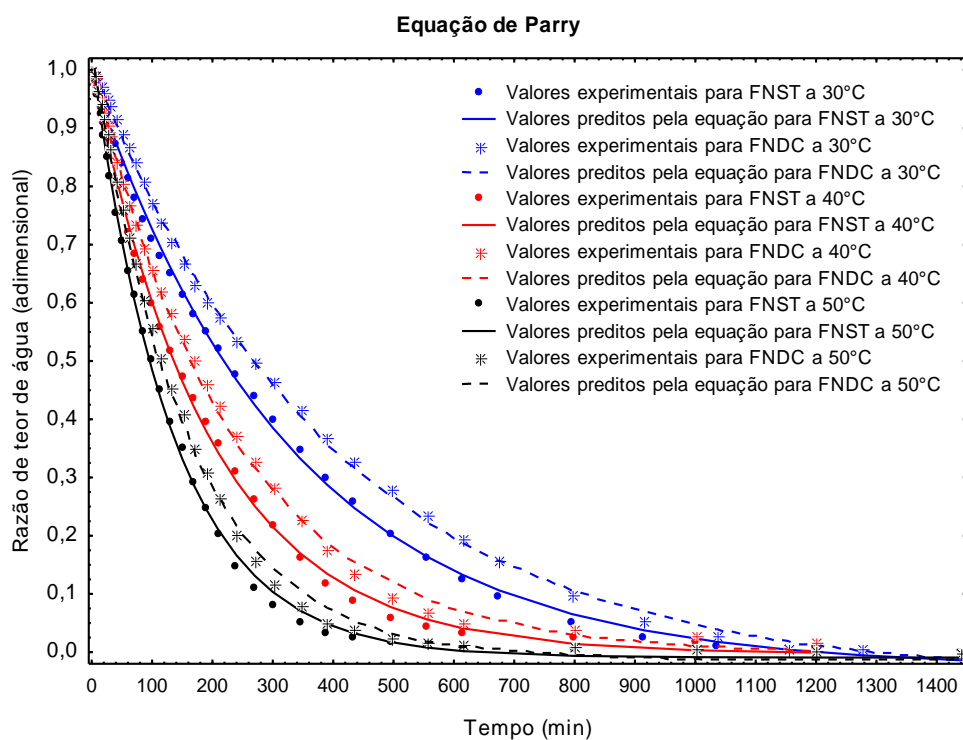
Nas Figuras 4.1 a 4.4 se encontram as curvas de secagem das féculas nativas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, obtidas nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, tal como as curvas ajustadas aos dados experimentais do processo pelas equações de Page, de Parry, de Henderson & Pabis e de Fick. Observa-se que o tempo de 24 horas, no qual as féculas nativas de inhames variedades São Tomé e Da Costa foram submetidas à secagem, foi suficiente para que os produtos atingissem o equilíbrio nas três diferentes condições de temperatura estudadas sendo os tempos de aproximadamente 1040, 1000 e 500 minutos para as secagens realizadas a 30, 40 e 50 °C, respectivamente, indicando que a elevação da temperatura de secagem favorece a redução do tempo gasto no processo, o que está de acordo com estudos realizados anteriormente para a secagem de diversos produtos de origem vegetal, como folhas de capim-limão, banana-maçã, polpa de siriguela, carambola e amido de ervilha (MARTINAZZO et al., 2007; SILVA et al., 2009; FURTADO et al., 2010; SANTOS et al., 2010; BENALI, 2012).

Ao analisar os dados experimentais, torna-se evidente que a perda de água por parte das féculas nativas se dá mais acentuadamente nos primeiros 130, 85 e 70 minutos nas secagens a 30, 40 e 50 °C, respectivamente.

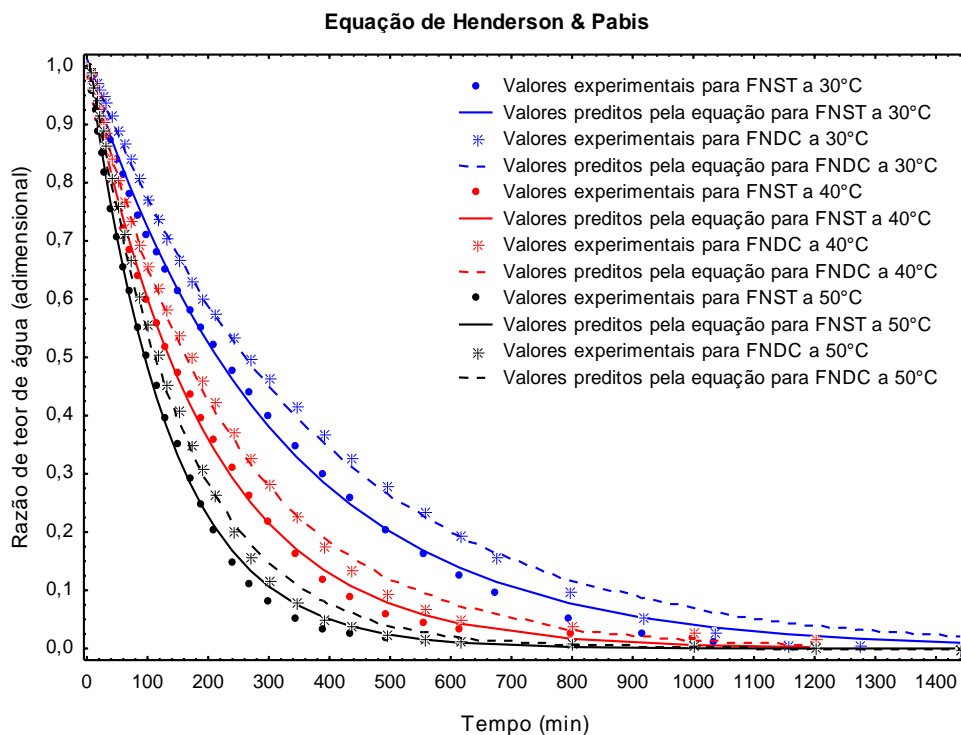
De conformidade com as curvas mostradas nas Figuras 4.1 a 4.4, enas condições de secagem estabelecidas, o tempo de meia-resposta da fécula nativa de inhame São Tomé (FNST), quando seca a 30 °C, foi de aproximadamente 220 minutos, valor este 2,2 vezes maior que o tempo requerido quando da secagem a 50 °C (100 minutos). Para a fécula nativa de inhame Da Costa (FNDC), o tempo de meia-resposta foi de aproximadamente 280 minutos na secagem a 30 °C e 120 minutos no processo a 50 °C.



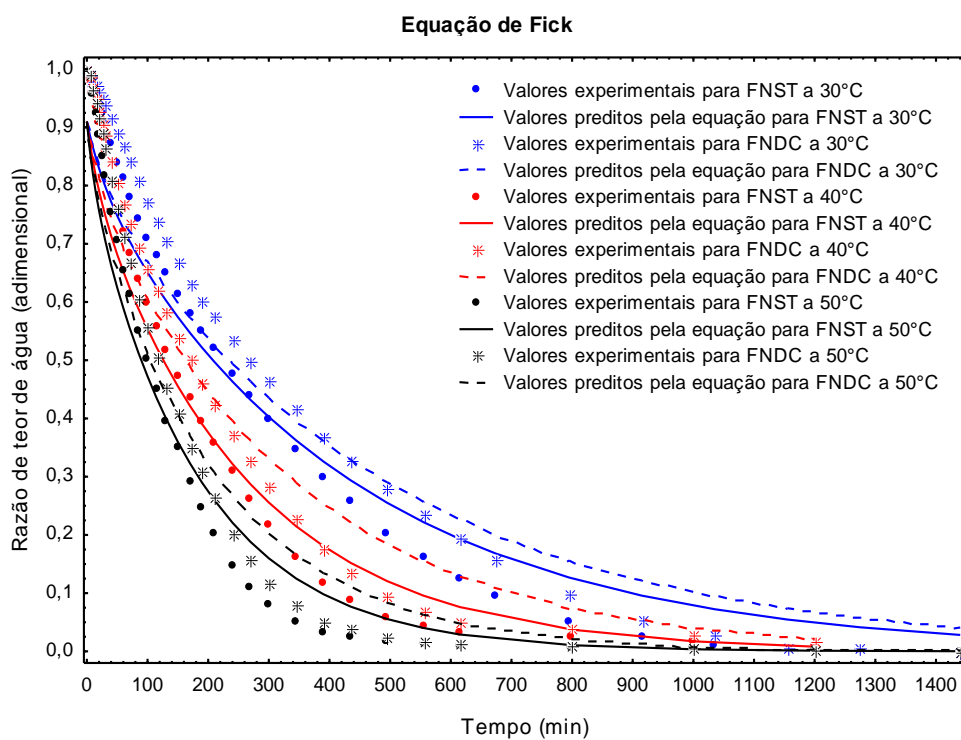
**Figura 4.1** - Dados experimentais da secagem de féculas nativas de inhames variedades São Tomé (FNST) e Da Costa (FNDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Page



**Figura 4.2** - Dados experimentais da secagem de féculas nativas de inhames variedades São Tomé (FNST) e Da Costa (FNDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Parry



**Figura 4.3** - Dados experimentais da secagem de féculas nativas de inhames variedades São Tomé (FNST) e Da Costa (FNDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Henderson & Pabis



**Figura 4.4** - Dados experimentais da secagem de féculas nativas de inhames variedades São Tomé (FNST) e Da Costa (FNDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Fick

Na Tabela 4.1 se encontram os ajustes das equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis enquanto na Tabela 4.2 consta o resumo do ajuste da equação de Fick com os três primeiros termos da série aos dados experimentais das secagens de féculas nativas de inhames das variedades São Tomé e Da Costa considerando-se as diferentes temperaturas de secagem.

**Tabela 4.1** - Constantes obtidas para as equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis ajustadas aos dados das secagens das féculas nativas de inhame, valores do coeficiente de determinação e dos desvios quadráticos médios obtidos nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C

Equação	Fécula	T (°C)	Constantes das equações				R <sup>2</sup> (%)	DQM
			a	c	k	z		
Page	FNST	30	-	-	0,0032	1,0029	99,84	0,0136
		40	-	-	0,0049	1,0085	99,88	0,0118
		50	-	-	0,0046	1,0932	99,93	0,0099
	FNDC	30	-	-	0,0020	1,0491	99,86	0,0128
		40	-	-	0,0036	1,0319	99,89	0,0110
		50	-	-	0,0030	1,1423	99,96	0,0073
Parry	FNST	30	1,0187	-0,0272	0,0030	-	99,91	0,0103
		40	1,0057	-0,0029	0,0051	-	99,88	0,0174
		50	1,0347	-0,0092	0,0074	-	99,88	0,0123
	FNDC	30	1,0481	-0,0421	0,0025	-	99,94	0,0085
		40	1,0118	-0,0052	0,0042	-	99,89	0,0115
		50	1,0490	-0,0132	0,0063	-	99,84	0,0144
Henderson & Pabis	FNST	30	0,9969	-	0,0032	-	99,84	0,0136
		40	1,0034	-	0,0051	-	99,88	0,0118
		50	1,0278	-	0,0076	-	99,87	0,0131
	FNDC	30	1,0133	-	0,0027	-	99,83	0,0141
		40	1,0076	-	0,0043	-	99,88	0,0116
		50	1,0388	-	0,0065	-	99,81	0,0156

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa

**Tabela 4.2** - Valores da difusividade efetiva, coeficiente de determinação e desvios quadráticos médios obtidos no ajuste da equação de Fick aos dados experimentais das secagens das féculas nativas de inhame, sem o efeito do encolhimento

Fécula	T (°C)	$D_{ef} (m^2.s^{-1}) \times 10^{10}$	$R^2$ (%)	DQM
FNST	30	0,9852	96,02	0,0684
	40	1,6242	96,24	0,0667
	50	2,2856	95,82	0,0729
FNDC	30	0,8747	94,12	0,0825
	40	1,2584	95,56	0,0718
	50	1,9467	94,90	0,0817

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa

Observando as Tabelas 4.1 e 4.2 fica nítido que, apesar da equação de Fick apresentar bom ajuste ( $R^2$  maior que 94 % e DQM abaixo de 0,0826) aos dados experimentais da secagem ele foi, no entanto, inferior ao das demais equações estudadas, quando utilizados apenas os três primeiros termos da série. As equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis se mostram equivalentes quanto ao ajuste visto que apresentaram valores elevados para o coeficiente de determinação, acima de 99,8 %, e baixos valores para o desvio quadrático médio, inferiores a 0,0175 significando que, no mínimo, 99,8 % da linha de regressão das equações descrevem o comportamento dos dados experimentais.

Verifica-se na Tabela 4.1, que com a elevação da temperatura de secagem a constante  $k$  aumenta para as equações estudadas com exceção da equação de Page. SILVA et al. (2009) também observaram este comportamento durante a secagem, em leito fixo da banana-maçã, fatiada em rodela nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C; segundo os autores, esta característica pode ser intrínseca à equação de Page.

Mediante os valores da difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ) mostrados na Tabela 4.2, nota-se que a elevação da temperatura de secagem resulta no aumento deste parâmetro. Isto indica que temperaturas mais elevadas proporcionam maiores trocas térmicas entre o ar e o produto e, conseqüentemente, torna maior a eficiência no processo de secagem. Conforme PRATES & ASCHERI (2010), uma diminuição de gastos energéticos pode ser obtida como resultado de maiores valores de difusividade efetiva pois esses implicam em menores tempos de secagem do material.

Segundo Mudamba et al. citados por SILVA et al. (2008b), os produtos biológicos possuem difusividade efetiva na ordem de  $10^{-11}$  a  $10^{-9} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ . Assim, os valores estimados para as féculas nativas de inhame por meio da equação de Fick estão coerentes aos apresentados na literatura. DIAS et al. (2011) secaram folhas de hortelã e relataram que a  $50^\circ\text{C}$  a difusividade efetiva é  $0,6 \times 10^{-10} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ . Secando grãos de trigo, GONELI et al. (2007) utilizaram  $55^\circ\text{C}$  como uma das temperaturas de trabalho e constataram que a difusividade efetiva do produto foi de  $8,68 \times 10^{-11} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ . Para bananas-maçã cortadas em rodelas com espessuras iguais a 10 mm e secas na temperatura de  $50^\circ\text{C}$ ,  $7,48 \times 10^{-11} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  foi o valor encontrado por SILVA et al. (2009) como difusividade efetiva. Portanto, comparando os valores de difusividade efetiva das féculas nativas de inhame a outros produtos biológicos como grão de trigo e banana-maçã secos a  $50^\circ\text{C}$ , observa-se que a taxa de transferência de massa foi muito maior para as féculas nativas, com valores de  $2,2856 \times 10^{-10}$  e  $1,9467 \times 10^{-10} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  para a fécula de inhame São Tomé e Da Costa, respectivamente.

Analisando os resultados na Tabela 4.2 para uma mesma temperatura de secagem e apesar dos valores das difusividades efetivas serem próximos entre si para as duas féculas nativas, verifica-se que a originária do inhame variedade Da Costa (FNDC) apresenta difusividades efetivas menores. OLIVEIRA et al. (2010) estudaram a secagem de soluções filmogênicas contendo misturas em diferentes proporções de amido de milho e amido de lírio-do-brejo e observaram que os menores tempos de secagem foram alcançados quando utilizadas maiores percentagens de amido de lírio-do-brejo na mistura. É provável que este fato se deva à diferença entre os tamanhos dos grânulos dos amidos presentes na solução filmogênica pois os grânulos do amido de milho são três a quatro vezes menores que os grânulos do amido de lírio-do-brejo, compactando a superfície da solução filmogênica e, de certa maneira, diminuindo a porosidade e, conseqüentemente, a transferência de calor e de massa durante a secagem aumentando o tempo de secagem. Com base neste estudo é provável que o tamanho dos grânulos das féculas de inhame possa apresentar influência sobre a porosidade e, conseqüentemente, sobre o tempo de secagem e valores de difusividade efetiva do material.

Segundo NUNES et al. (2009a), o conhecimento do teor de água das féculas é válido no sentido de padronizar o produto para seu uso em processos industriais de diferentes produtos que têm a fécula como uma das matérias-primas. Os valores dos teores

de água iniciais e alcançados ao final da secagem em cada temperatura estão expostos na Tabela 4.3.

LIPORACCI et al. (2005) extraíram féculas de tubérculos de inhame (*Dioscorea alata*) por dois diferentes métodos. As féculas foram submetidas à secagem em estufa com circulação e renovação de ar na temperatura de 40 °C, até o teor de água de 14 % (b.u.). Amidos foram extraídos a partir de ervilhas verdes e ervilhas vermelhas para as quais os teores de água foram, respectivamente, iguais a 10,7 e 11,8 %, quando secos em camada fina a temperatura ambiente durante 48 horas (LEE et al., 2007). Cultivares de arroz foram utilizadas para extração de amido. Os amidos resultantes deste processo de isolamento foram secos em estufa com circulação de ar a 40 °C até 11,0 % (b.u.) de teor de água (ZAVAREZE et al., 2009).

Mesmo que nenhuma referência seja feita com relação ao teor de água de féculas de inhame por parte da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e tomando como base os limites máximos de teores de água estabelecidos para farinhas, amidos de cereais e farelos (15,0 %), para fécula de batata (21,0 %) e para fécula de mandioca (18,0 %) (ANVISA, 2005), observa-se que valores de teores de água das féculas nativas de inhame ao final das secagens a 30, 40 e 50 °C (Tabela 4.3) estão em conformidade com a ANVISA.

**Tabela 4.3** – Valores de teores de água iniciais e de equilíbrio e os respectivos desvios padrão para féculas nativas de inhame, a 30, 40 e 50 °C

Fécula	Temperatura (°C)	Teor de água (% b.u.)	
		Inicial	Equilíbrio
FNST	30	48,98 ± 0,723	14,23 ± 0,096
	40	49,41 ± 0,261	9,33 ± 0,967
	50	50,03 ± 0,320	7,39 ± 0,173
FNDC	30	49,88 ± 0,681	14,08 ± 0,140
	40	48,97 ± 0,442	9,16 ± 0,073
	50	50,68 ± 0,315	7,90 ± 0,195

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa

Como no processo realizado a 50 °C se obtiveram féculas com menores valores de teor de água, as féculas secas nesta temperatura foram escolhidas como base para as

demais análises, uma vez que menores teores de água em produtos biológicos proporcionam maior estabilidade microbiológica.

#### 4.1.2 - Rendimento de extração das féculas nativas

Na Tabela 4.4 se encontram os valores relativos aos rendimentos de extração (rendimentos práticos e rendimentos em termos de matéria seca) verificados para as féculas nativas dos inhames São Tomé e Da Costa quando utilizada a secagem na temperatura de 50 °C.

**Tabela 4.4** – Valores dos rendimentos práticos, rendimentos em termos de matéria seca e desvio padrão nos processos de extração verificados durante as secagens das féculas nativas de inhame, a temperatura de 50 °C

Fécula	Rendimento (%)	
	Prático	Em termos de matéria seca
FNST	12,73 ± 0,44	52,25 ± 2,35
FNDC	12,81 ± 0,83	37,67 ± 1,44

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa

Os teores de água médios dos tubérculos de inhame São Tomé processados foram 77,39 % (b.u.) enquanto para os tubérculos de inhame Da Costa foram cerca de 68,69 % (b.u.). Nas Tabelas 4.3 e 4.4 pode-se observar que o processo de extração das féculas nativas proporcionou rendimentos práticos em torno de 12,7 %, com teores de água de 7,39 e 7,90 % (b.u.) para as féculas de inhames São Tomé e Da Costa, respectivamente. Resultados semelhantes obtiveram REIS et al. (2010) quando isolaram a fécula de inhame variedade São Bento e a secaram em estufa com circulação de ar a 45 °C; os autores verificaram rendimento prático de 13,96 % para a fécula com teor de água igual a 7,61 % (b.u.).

Os rendimentos práticos para as féculas nativas de inhame obtidos neste trabalho (12,7 %) foram mais expressivos que o rendimento prático obtido por LEONEL et al. (2005) no processo de extração de fécula de gengibre com teor de água de 11,7 % (b.u.) que foi de 7,2 %. Também foi de maior eficiência a extração das féculas nativas dos inhames se comparada com a extração de féculas provenientes de diferentes variedades de mandioquinha-salsa avaliadas por MATSUGUMA (2006) que reportou valores iguais a 10,3, 6,91 e 8,52 % para o rendimento prático de extração de féculas de mandioquinha-



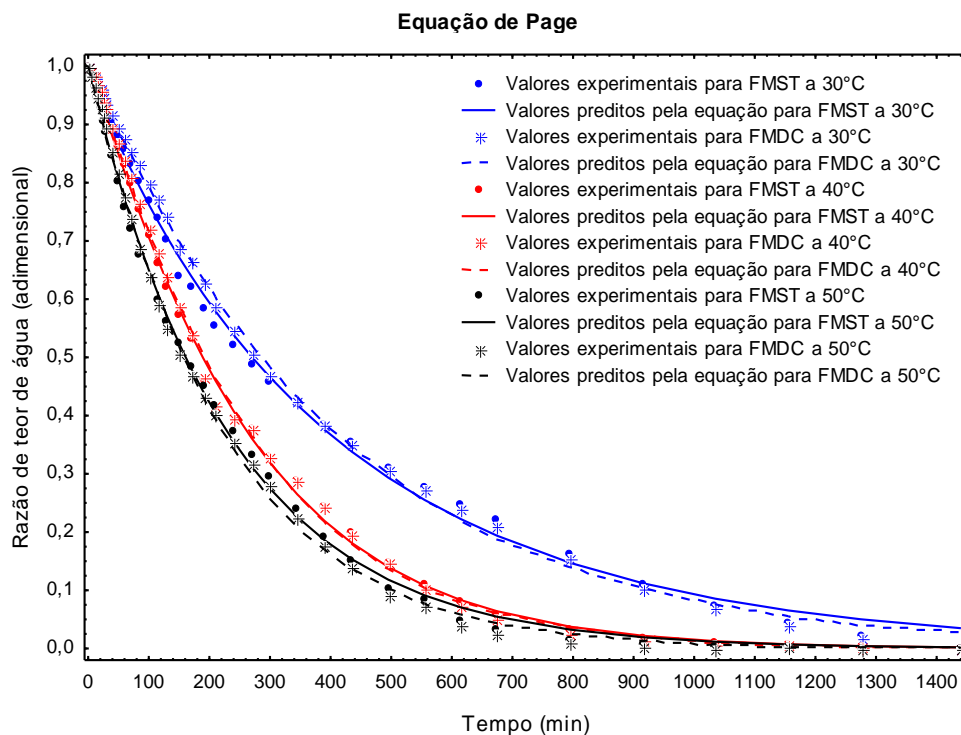
salsa amarela de Carandaí da cidade de Castro, amarela de Carandaí e Senador Amaral da cidade de Pirai, respectivamente, com teores de água médios de 9,27 % (b.u.).

Tanto os valores de rendimento prático quanto os de rendimento em termos de matéria seca para as féculas nativas de inhame foram maiores que os apontados por YAMANÍ (2010) em sua pesquisa com féculas extraídas de três diferentes tuberosas - oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) e mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz e Pavón). Segundo a autora, rendimentos práticos e em termos de matéria seca foram iguais, respectivamente, a 5,44 e 39,53 % para a fécula de oca, 6,40 e 50,08 % para fécula de olluco e 1,70 e 18,55 % para fécula de mashua.

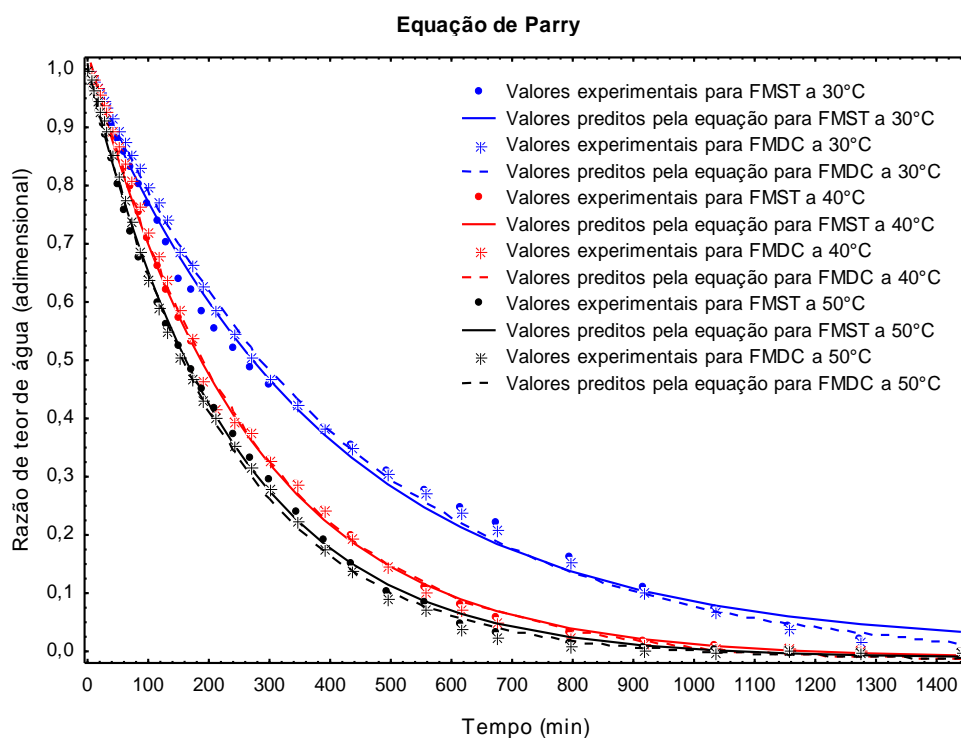
DJABALI et al. (2009) isolaram a fécula de batata (*Solanum tuberosum*) com teor de água de 14,7 % (b.u.) utilizando método alcalino. O procedimento revelou rendimento em termos de matéria seca, igual a 38,9 %. Este valor traduz menor rendimento se comparado ao rendimento médio encontrado na presente pesquisa para fécula nativa de inhame São Tomé (52,25 %) e ligeiramente maior em relação ao descrito para fécula nativa de inhame Da Costa (37,67 %).

#### **4.1.3 - Cinética de secagem das féculas quimicamente modificadas**

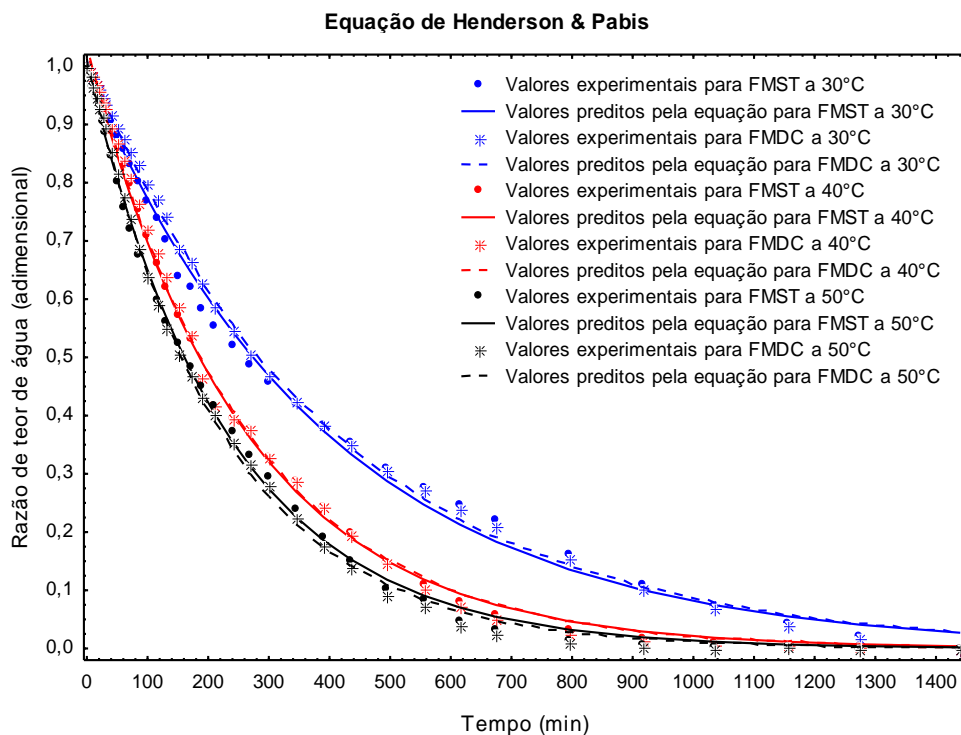
Nas Figuras 4.5 a 4.8 estão representados, nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C, as curvas de secagem e os ajustes das equações matemáticas em estudo para as féculas quimicamente modificadas de inhame (variedades São Tomé e Da Costa). Analisando os dados experimentais contidos nessas figuras observa-se, no início do processo de cada secagem, a rápida perda de água tornando-se mais acentuada, respectivamente, nos primeiros 170, 120 e 80 minutos do procedimento nas temperaturas de 30, 40, e 50 °C.



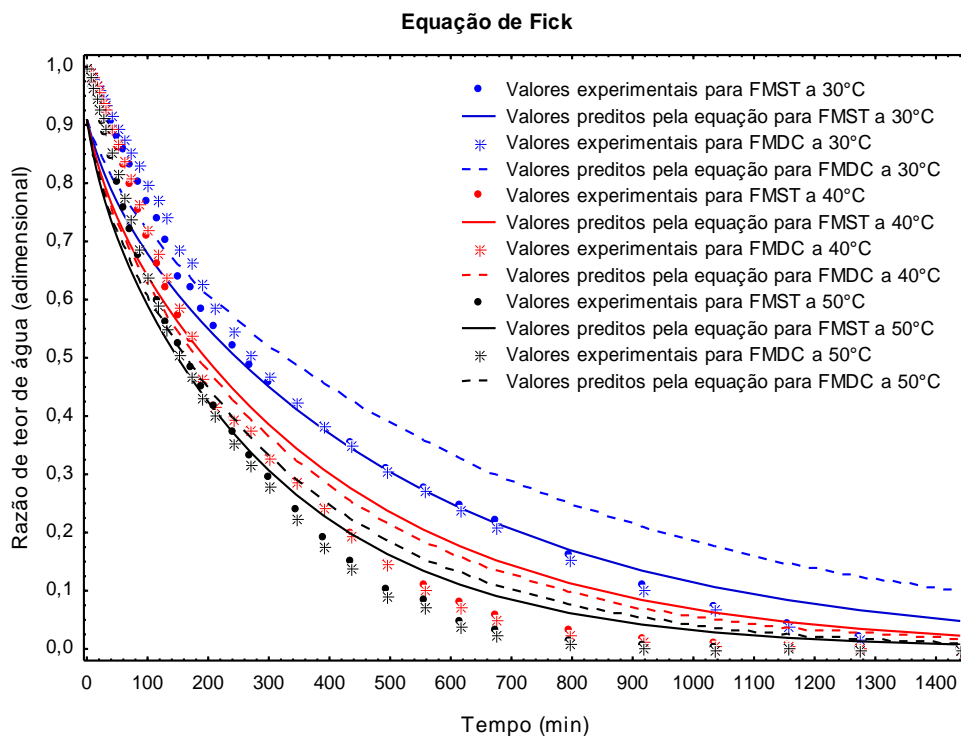
**Figura 4.5** - Dados experimentais da secagem de féculas modificadas de inhames variedades São Tomé (FMST) e Da Costa (FMDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Page



**Figura 4.6** - Dados experimentais da secagem de féculas modificadas de inhames variedades São Tomé (FMST) e Da Costa (FMDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Parry



**Figura 4.7** - Dados experimentais da secagem de féculas modificadas de inhames variedades São Tomé (FMST) e Da Costa (FMDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Henderson & Pabis



**Figura 4.8** - Dados experimentais da secagem de féculas modificadas de inhames variedades São Tomé (FMST) e Da Costa (FMDC) em temperaturas de 30, 40 e 50 °C e curvas estimadas pela equação de Fick

Nota-se ainda, com o aumento da temperatura que, para o processo de secagem das féculas quimicamente modificadas, também ocorre decréscimo nos tempos gastos para que o equilíbrio higroscópico seja alcançado, tendência esta, verificada aos 1275, 1035 e 800 minutos de secagem a 30, 40, e 50 °C, respectivamente.

As curvas de secagem das féculas modificadas indicam que o valor do tempo de meia resposta à menor temperatura foi de aproximadamente 270 minutos enquanto para a secagem na temperatura mais elevada este valor se manteve em torno de 160 minutos, ou seja, reafirmando o comportamento observado no processo de secagem das féculas nativas.

Os ajustes das equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis aos dados experimentais das secagens das féculas modificadas de inhames (variedades São Tomé e Da Costa) são apresentados na Tabela 4.5 e na Tabela 4.6 constam os de difusividade efetiva, coeficiente de determinação e desvios quadráticos médios do ajuste da equação de Fick com os três primeiros termos da série.

Como verificado anteriormente na secagem das féculas nativas, de forma geral, os valores da constante  $k$  presentes na Tabela 4.5, sofrem aumento quando se eleva a temperatura do processo, o que não é observado novamente quando se analisam os valores da constante para a equação de Page.

Nas três temperaturas de secagem utilizadas para as féculas modificadas nota-se que as equações matemáticas ajustadas aos dados experimentais apresentaram valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) maiores que 99,6 % e de desvios quadráticos médios (DQM) inferiores a 0,0194 (Tabela 4.5) indicando uma representação satisfatória do processo de secagem por parte das equações que, desta forma, se equivalem no que se refere ao ajuste aos dados experimentais.

**Tabela 4.5** - Constantes obtidas para as equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis ajustadas aos dados das secagens das féculas modificadas de inhame, valores do coeficiente de determinação e dos desvios quadráticos médios obtidos nas temperaturas de 30, 40 e 50 °C

Equação	Fécula	T (°C)	Constantes das equações				R <sup>2</sup> (%)	DQM
			a	c	k	z		
Page	FMST	30	-	-	0,0035	0,9437	99,73	0,0167
		40	-	-	0,0024	1,0834	99,85	0,0141
		50	-	-	0,0042	1,0007	99,88	0,0120
	FMDC	30	-	-	0,0021	1,0241	99,87	0,0118
		40	-	-	0,0019	1,1164	99,85	0,0143
		50	-	-	0,0036	1,0395	99,91	0,0106
Parry	FMST	30	0,9852	0,0087	0,0026	-	99,65	0,0192
		40	1,0379	-0,0114	0,0038	-	99,86	0,0134
		50	1,0101	-0,0113	0,0042	-	99,90	0,0120
	FMDC	30	1,0257	-0,0204	0,0204	-	99,89	0,0105
		40	1,0487	-0,0181	0,0037	-	99,82	0,0155
		50	1,0233	-0,0130	0,0044	-	99,93	0,0096
Henderson & Pabis	FMST	30	0,9924	-	0,0025	-	99,64	0,0193
		40	1,0289	-	0,0039	-	99,85	0,0141
		50	1,0014	-	0,0043	-	99,88	0,0119
	FMDC	30	1,0088	-	0,0025	-	99,87	0,0117
		40	1,0343	-	0,0038	-	99,78	0,0170
		50	1,0133	-	0,0045	-	99,90	0,0110

FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

**Tabela 4.6** - Valores da difusividade efetiva, coeficiente de determinação e desvios quadráticos médios obtidos no ajuste da equação de Fick aos dados experimentais das secagens das féculas modificadas de inhame, sem o efeito do encolhimento

Fécula	T (°C)	D <sub>ef</sub> (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ) x 10 <sup>10</sup>	R <sup>2</sup> (%)	DQM
FMST	30	0,8283	95,26	0,0702
	40	1,0459	94,52	0,0840
	50	1,3678	96,50	0,0658
FMDC	30	0,6219	93,45	0,0844
	40	1,2251	94,35	0,0860
	50	1,2531	95,75	0,0736

FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Observa-se, por meio dos dados da Tabela 4.6, o acréscimo da difusividade efetiva ( $D_{ef}$ ) em decorrência do aumento da temperatura de secagem. Do mesmo modo que para as féculas nativas numa mesma temperatura a fécula modificada proveniente do inhame variedade Da Costa (FMDC) apresenta valores de difusividades efetivas menores que a fécula modificada de inhame São Tomé (FMST).

As condições de secagem foram suficientes para originar féculas quimicamente modificadas de inhame com teores de água menores que 15,0 % (b.u.) conforme a Tabela 4.7.

**Tabela 4.7** – Valores de teores de água iniciais e de equilíbrio e os respectivos desvios padrão para féculas modificadas de inhame, a 30, 40 e 50 °C

Fécula	Temperatura (°C)	Teor de água (% b.u.)	
		Inicial	Equilíbrio
FMST	30	51,47 ± 0,777	14,23 ± 0,058
	40	42,99 ± 0,889	9,96 ± 0,120
	50	49,37 ± 0,214	6,95 ± 0,163
FMDC	30	50,52 ± 0,054	14,76 ± 0,170
	40	45,03 ± 0,531	9,67 ± 0,090
	50	48,78 ± 0,087	6,96 ± 0,509

FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

As féculas secas a 50 °C foram utilizadas nas demais fases do trabalho tendo em vista os menores valores de teor de água ao final da secagem.

Para a fécula modificada São Tomé o teor de água foi reduzido de 49,37 % para 6,95 % (b.u.) e a fécula modificada Da Costa teve redução de 48,78 para 6,96 % (b.u.). Ao final das secagens a 30, 40 e 50 °C, verifica-se a conformidade dos valores de teores de água das féculas modificadas de inhame, com os valores determinados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2005), considerando-se os padrões adotados para farinhas, amidos de cereais e farelos (15,0 %), para fécula de batata (21,0 %) e para fécula de mandioca (18,0 %).

### 4.3 - Caracterização das féculas nativas e modificadas

#### 4.3.1 - Caracterização físico-química

Na Tabela 4.8 se encontram os valores médios referentes à caracterização físico-química das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames *Dioscorea alata* (variedade São Tomé) e *Dioscorea cayennensis* (variedade Da Costa).

**Tabela 4.8** - Valores médios e desvios padrões dos parâmetros físico-químicos das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Parâmetro	Fécula			
	FNST	FNDC	FMST	FMDC
Teor de água (% b.u.)	7,39 ± 0,173	7,90 ± 0,195	6,95 ± 0,163	6,96 ± 0,509
Teor de cinzas (%)	0,15 ± 0,009	0,13 ± 0,004	0,15 ± 0,025	0,13 ± 0,005
Teor de proteínas (%)	0,51 ± 0,039	0,49 ± 0,028	0,49 ± 0,052	0,48 ± 0,027
Teor de lipídeos (%)	0,05 ± 0,011	0,05 ± 0,008	0,06 ± 0,022	0,04 ± 0,018
Teor de amido (%)	91,33 ± 0,657	90,81 ± 0,761	90,84 ± 0,453	90,52 ± 0,603
Teor de amilose (%)	39,17 ± 1,158	38,66 ± 1,003	26,53 ± 1,367	25,02 ± 1,367
pH	7,03 ± 0,095	7,04 ± 0,040	7,06 ± 0,006	7,08 ± 0,056
Acidez (mL NaOH 1Normal.100g de fécula <sup>-1</sup> )	1,16 ± 0,005	1,16 ± 0,006	1,16 ± 0,006	1,16 ± 0,005

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Conforme os resultados expressos nas Tabelas A.1 a A.8 (Apêndice A), em relação ao fator variedade de inhame, todos os parâmetros físico-químicos avaliados não mostraram diferença estatística significativa.

Na Tabela 4.9 consta a análise de comparação de médias apenas para os parâmetros teor de água e amilose, os quais foram diferentes estatisticamente ao nível de 1 % de probabilidade, considerando-se o fator tipo de fécula.

**Tabela 4.9** - Comparação entre médias de teor de água das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator tipo de fécula

Tipo de fécula	Teor de água (% b.u.)	Amilose (%)
Nativa	7,64 a	38,87 a
Modificada	6,95 b	25,77 b

Para teor de água - DMS = 0,39569; MG = 7,29842; CV = 4,07 %

Para amilose - DMS = 1,6354; MG = 32,322; CV = 3,80 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Os teores de água das féculas de inhame foram de aproximadamente 7,0 %, valor este, menor que os encontrados por ARAÚJO (2008) para fécula de batata-doce (11,25 %) e por YAMANÍ (2010) em três diferentes espécies de tuberosas: oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) e mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz e Pavón), para as quais os teores de água foram de 10,93; 10,97 e 8,44 %, respectivamente.

Constatou-se que não houve diferença no teor de cinzas quando se analisam as féculas de uma mesma espécie de inhame, ainda que seja quimicamente modificada. Os teores de cinzas presente nas féculas nativa e modificada de inhame São Tomé se apresentaram iguais ao valor encontrado por ALVES et al. (2002) que foi de 0,15 % para inhame da mesma espécie (*Dioscorea alata*), enquanto nas féculas nativa e modificada de inhame Da Costa este valor foi semelhante ao relatado por LIPORACI et al. (2005) também para inhame *Dioscorea alata*.

O teor de proteínas das féculas nativas e modificadas de inhames (São Tomé e Da Costa) mostrou-se elevado em relação aos valores encontrados por PERONI (2003) para a fécula de inhame (0,09 %). Na pesquisa de MISHRA & RAI (2006) constatou-se teor de proteínas igual a 0,51 % em fécula nativa de mandioca, assim como o amido nativo de ervilha amarela caracterizado por HUANG et al. (2007) apresentou valor muito próximo (0,52 %) aos encontrados para as féculas de inhame em estudo.

As féculas nativas e modificadas de inhame apresentaram teores de lipídeos inferiores quando comparados à quantidade deste constituinte nas féculas de inhame analisadas por ALVES et al. (2002), PERONI (2003) e LIPORACI et al. (2005), para as



quais foram observados, respectivamente, os seguintes valores: 0,16; 0,10 e 0,30 % de lipídeos.

TORRUCO-UCO & BETANCUR-ANCONA (2007) trabalharam com fécula de tubérculos de macau (*Xanthosoma yucatanensis*), e esta apresentou alto grau de pureza (96,7 % de amido) ao contrário do que se verificou nas féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e Da Costa (Tabela 4.8); contudo, o grau de pureza dessas féculas (aproximadamente 91 %) se manteve com valores próximos aos do amido de ervilha amarela que foi de 92,3 % (HUANG et al., 2007) e superiores em relação ao grau de pureza da fécula de inhame (80,2 %) extraída por NUNES (2009).

É possível verificar, na Tabela 4.8, que as féculas de inhame *Dioscorea alata* (São Tomé) apresentaram maiores teores de amilose em relação às féculas de inhame *Dioscorea cayennensis* (Da Costa), apesar do “fator variedade de inhame” não ser significativo ao nível de 5 % de probabilidade, conforme a Tabela A.6 (Apêndice A). Com relação ao fator “tipo de fécula”, pode-se verificar, na Tabela 4.9, que como esperado, o teor de amilose médio das féculas modificadas diminuiu em comparação com as féculas nativas visto que a hidrólise ácida é mais efetiva sobre as moléculas de amilose que nas de amilopectina (FRANCO et al., 2002; JAYACODY & HOOVER, 2002). O mesmo resultado foi observado por LAWAL et al. (2005) cujo o amido nativo de milho foi ácido-modificado e teve seu teor de amilose reduzido de 20,42 para 17,65 %.

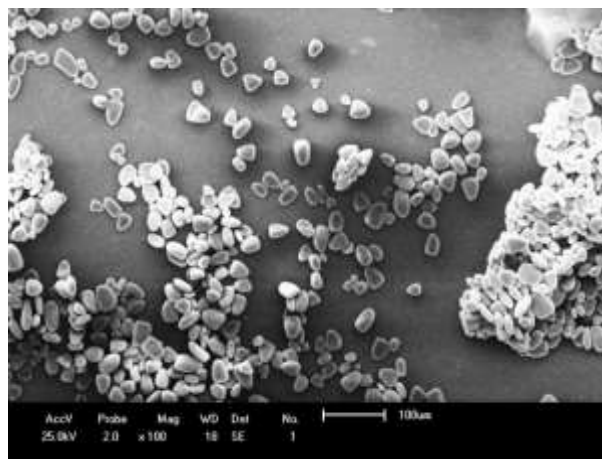
Teor de amilose igual a 30,0 % foi observado por ALVES et al. (2002) quando estudaram fécula de inhame. Resultado idêntico (30,0 % de amilose) foi encontrado por LIPORACI et al. (2005) para a mesma espécie de inhame (*Dioscorea alata*). TORRUCO-UCO & BETANCUR-ANCONA (2007) citaram 22,4 % como o teor de amilose presente na fécula de macal. Em amido de sementes de pinhão foi encontrado 42,0 % de amilose (HENRIQUÉZ et al., 2008). Em sua pesquisa com maca (*Lepidium meyenii* Walpers) os autores RODÁN-SANABRIA & FINARDI-FILHO (2009) reportaram teor de amilose igual a 20,45 % para a fécula desta raiz. NUNES et al. (2009a) determinaram o teor de amilose de féculas extraídas de três variedades de mandioca e constatarem valores de 25,95 %, 32,09 % e 28,21 % para féculas das variedades Cacau, Manteiga e Eucalipto, respectivamente.

Amostras de amido de milho e fécula de mandioca foram avaliadas por SILVA et al. (2006) quanto às características físico-químicas. O amido nativo de milho apresentou pH (5,0) e a fécula nativa de mandioca pH (5,6), enquanto nas amostras modificadas por ácido o pH variou de 5,2 a 5,5. DEEPIKA et al. (2013) divulgaram, em seu trabalho, féculas nativas de inhame (*Dioscorea*) com valores de pH próximos a 7,0, de maneira semelhante às féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e da Costa (Tabela 4.8).

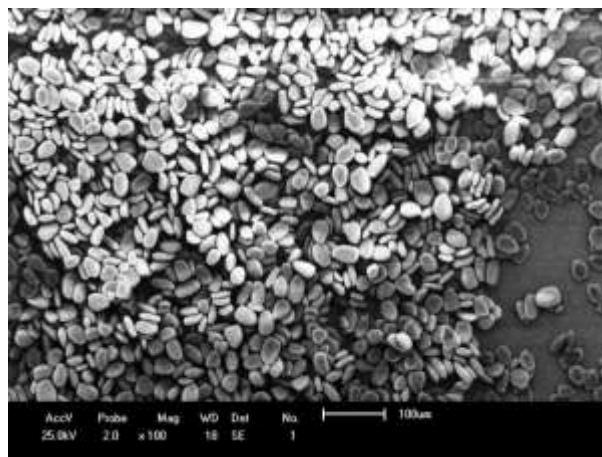
Quanto à acidez, os valores apresentados pelas féculas de inhame São Tomé e da Costa foram iguais a 1,16 mL NaOH 1Normal/100g de fécula. SILVA et al. (2006) verificaram que os amidos nativo e modificado de milho apresentaram acidez de 1,39 e 0,79 mL NaOH 1N/100g de amido.

#### 4.3.2 - Forma e tamanho dos grânulos

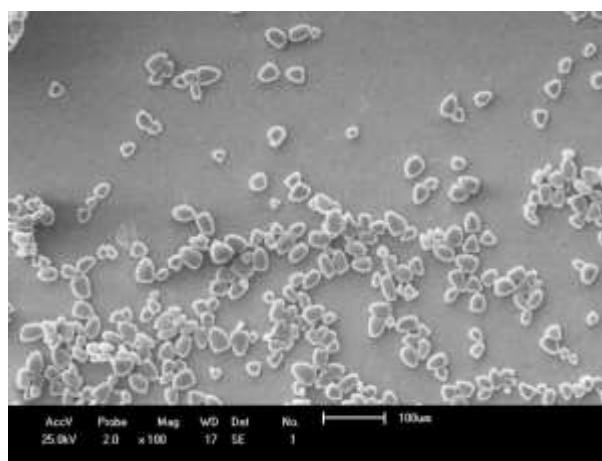
As características morfológicas das féculas nativas e modificadas de inhame (São Tomé e Da Costa) estão apresentadas nas Figuras 4.9 a 4.12. Os grânulos da fécula de inhame se encontram distribuídos em diversos formatos (disco, elipsoide, circular, triangular e ovoide), com predominância das formas elípticas e triangulares.



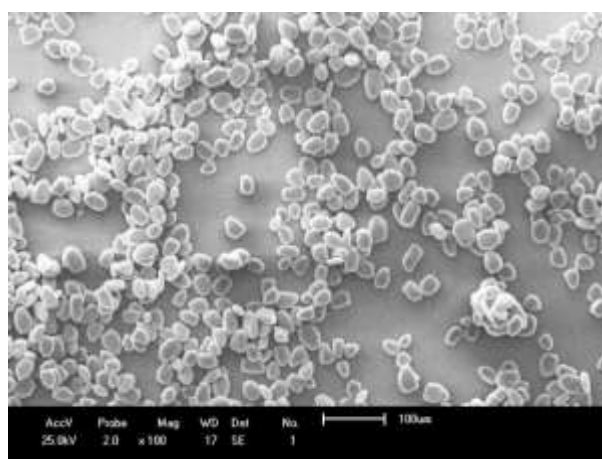
**Figura 4.9** - Fotomicrografia da fécula nativa de inhame variedade São Tomé observada por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 100x)



**Figura 4.10** – Fotomicrografia da fécula nativa de inhame variedade Da Costa observada por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 100x)



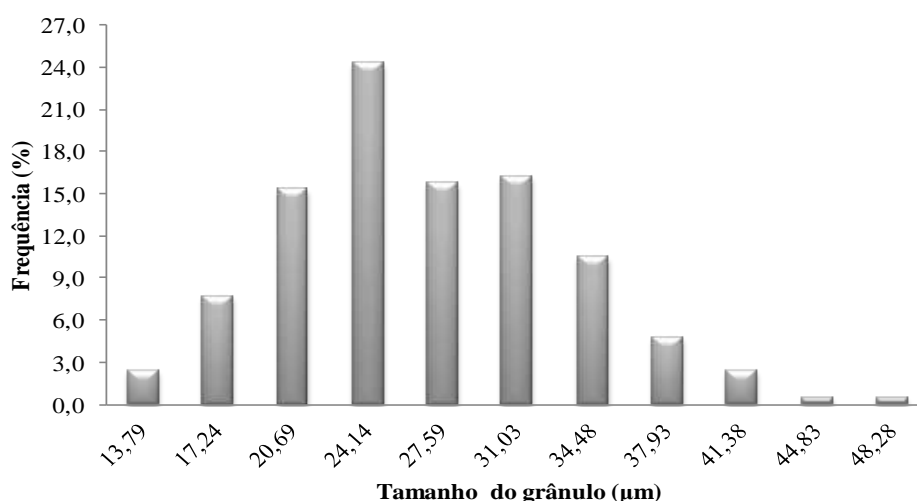
**Figura 4.11** - Fotomicrografia da fécula modificada de inhame variedade São Tomé observada por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 100x)



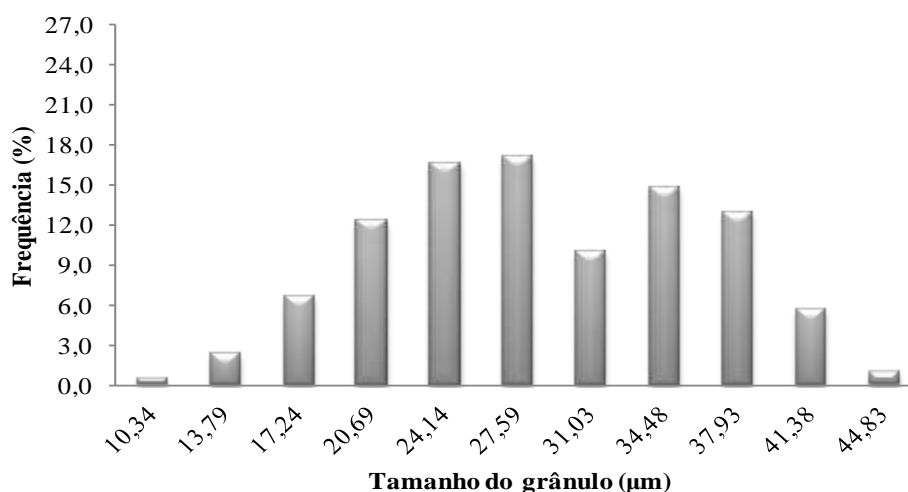
**Figura 4.12** - Fotomicrografia da fécula modificada de inhame variedade Da Costa observada por microscopia eletrônica de varredura (aumento de 100x)

DAIÚTO & CEREDA (2003) apontam formatos elipsoides e ovóides para grânulos de fécula de inhame. POLESÍ (2009) constatou que os grânulos de amido de grão-de-bico apresentaram formatos ovais e esféricos e para os grânulos de amido de ervilha destacou as formas arredondadas e irregulares. No trabalho realizado por ASCHERI et al. (2010) foram evidenciadas formas para os grânulos da fécula de lírio-do-brejo, as quais se mostraram elípticas, truncadas, pentagonais e irregulares.

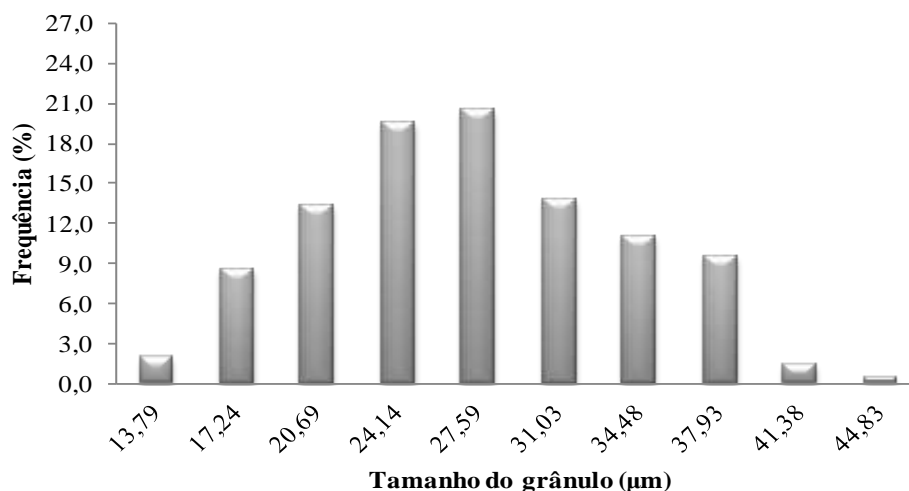
O percentual de distribuição de tamanhos dos grânulos das féculas nativas é apresentado nas Figuras 4.13 e 4.14 e para as féculas modificadas os dados são indicados nas Figuras 4.15 e 4.16.



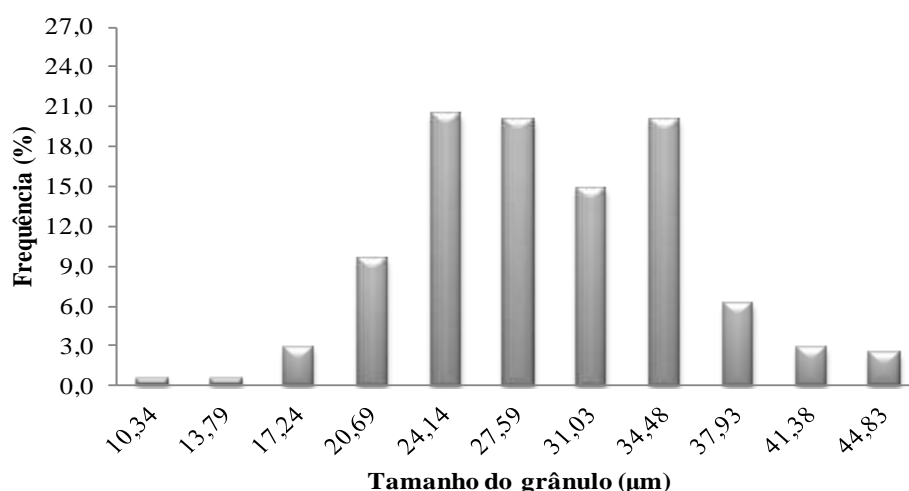
**Figura 4.13** - Distribuição dos tamanhos dos grânulos da fécula nativa de inhame São Tomé



**Figura 4.14**- Distribuição dos tamanhos dos grânulos da fécula nativa de inhame Da Costa



**Figura 4.15** - Distribuição dos tamanhos dos grânulos da fécula modificada de inhame São Tomé



**Figura 4.16** - Distribuição dos tamanhos dos grânulos da fécula modificada de inhame Da Costa

Os grânulos das féculas de inhame São Tomé são muito semelhantes aos grânulos das féculas de inhame Da Costa. Nota-se este fato tanto no caso das féculas nativas como modificadas tendo em vista que suas superfícies são lisas sem rupturas ou fissuras e não apresentam degradação em detrimento do processo de hidrólise ácida, no caso das féculas modificadas. Por isso não se observam mudanças quanto à estrutura superficial dos grânulos das féculas após a modificação química. Segundo ZHANG & OATES (1999), féculas provenientes de tubérculos apresentam grânulos com superfícies lisas e são menos susceptíveis à hidrólise enzimática que os grânulos de amidos oriundos de cereais, os quais são dotados de superfícies porosas. É possível, então, que o aspecto liso das

superfícies dos grânulos das féculas de inhame tenha sido um fator relevante para a manutenção das suas formas e tamanhos frente ao processo de hidrólise ácida.

Verifica-se que a amplitude de variação encontrada para os grânulos foi, de forma geral, entre 10,34  $\mu\text{m}$  e 48,28  $\mu\text{m}$  sendo que aqueles com 24,14 e 27,59  $\mu\text{m}$  surgem com maior frequência. As féculas nativas e modificadas de inhame Da Costa exibem grânulos com tamanhos menores (10,34 a 44,83  $\mu\text{m}$ ) em relação às féculas de inhame São Tomé (13,79 a 48,28  $\mu\text{m}$ ). Esses dados possivelmente podem, com base no trabalho de OLIVEIRA et al. (2010), justificar o fato das féculas de inhame Da Costa apresentarem valores de difusividade efetiva ligeiramente inferiores aos das féculas de inhame São Tomé, conforme as Tabelas 4.2 e 4.6.

Considerando a pesquisa de LEONEL (2007) quanto à granulometria de amido de diferentes fontes botânicas, os grânulos das féculas nativas e modificadas de inhame se apresentam menores em relação aos grânulos da fécula de biri, que variaram de tamanho entre 43,06 e 59,61  $\mu\text{m}$ ; no entanto, os tamanhos dos grânulos das féculas de inhame são maiores que aqueles encontrados para féculas e amidos de outras fontes: fécula de mandioquinha-salsa (3,2 a 29,7  $\mu\text{m}$ ), de batata-doce (2,7 a 39,6  $\mu\text{m}$ ), gengibre (3,7 a 37,9  $\mu\text{m}$ ) (VIEIRA, 2004), amido de trigo (5,6 a 24,9  $\mu\text{m}$ ) (LI et al., 2008), amido de milho (5,0 a 25,0  $\mu\text{m}$ ) (WEBER et al., 2009) e fécula de mangarito (5,36 a 22,13  $\mu\text{m}$ ) (ÁVILA et al., 2012).

#### 4.3.3 - Densidade

Na Tabela 4.10 se encontram os valores médios de densidade referentes às féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e Da Costa.

**Tabela 4.10** - Valores médios e desvios padrões de densidade das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Parâmetro	Fécula			
	FNST	FNDC	FMST	FMDC
Densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	$1,49 \pm 0,055$	$1,48 \pm 0,066$	$1,38 \pm 0,029$	$1,34 \pm 0,036$

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Não houve diferença estatística significativa entre os valores de densidade quando considerado o fator variedade de inhame sinalizando que, estatisticamente, são iguais os valores de densidade das féculas nativas dos inhames variedades São Tomé e Da Costa. Os valores de densidade se diferenciam estatisticamente entre as féculas modificadas de ambas as variedades, conforme a Tabela A.9 (Apêndice A). Ao analisar o fator tipo de fécula (Tabela 4.11), observa-se que as féculas nativas são mais densas que as féculas modificadas.

**Tabela 4.11** - Comparação entre médias de densidade das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator tipo de fécula

Tipo de fécula	Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )
Nativa	1,49 a
Modificada	1,36 b

Para densidade - DMS = 0,06491; MG = 1,42767; CV = 3,42 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

SILVA & SILVA (2005) isolaram e caracterizaram amido de banana-nanica que, por sua vez, apresentou-se mais denso (1,53 g.cm<sup>-3</sup>) que as féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e Da Costa (Tabela 4.10). NUNES et al. (2009a) indicaram densidades de féculas extraídas de três variedades de mandioca: variedades Cacau com 1,58 g.cm<sup>-3</sup>, Manteiga com 1,51 g.cm<sup>-3</sup> e Eucalipto com densidade igual a 1,51 g.cm<sup>-3</sup>.

DURANGO et al. (2009) encontraram para fécula de *Dioscorea alata* variedade Caramujo, densidade igual a 1,52 g.cm<sup>-3</sup>. Este valor é similar apenas aos das féculas nativas de inhame São Tomé e Da Costa, apresentados na Tabela 4.10. Duas espécies de inhame *Dioscorea* foram utilizadas por DEEPIKA et al. (2013) para a extração das féculas e segundo os autores, as densidades dessas féculas foram iguais a 1,42 e 1,24 g.cm<sup>-3</sup>, resultados próximos aos encontrados para as féculas nativas e modificadas, respectivamente, dos inhames São Tomé e Da Costa, na atual pesquisa.

#### 4.3.4 - Solubilidade em água e poder de inchamento

Os valores da solubilidade em água (SA) e do poder de inchamento (PI) das féculas nativas e modificadas de inhames São Tomé e Da Costa nas temperaturas de 30, 40, 50, 60, 70 e 80 °C, estão apresentados na Tabela 4.12.

**Tabela 4.12** - Valores médios e desvios padrões das propriedades solubilidade em água e poder de inchamento das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa

T (°C)	Propriedade	Fécula			
		FNST	FNDC	FMST	FMDC
30	SA (%)	0,218 ± 0,192	0,329 ± 0,114	0,554 ± 0,378	0,554 ± 0,147
	PI (g.g <sup>-1</sup> )	1,855 ± 0,136	1,938 ± 0,020	1,985 ± 0,011	2,018 ± 0,191
40	SA (%)	0,351 ± 0,192	0,486 ± 0,193	0,384 ± 0,096	0,554 ± 0,378
	PI (g.g <sup>-1</sup> )	1,943 ± 0,029	1,956 ± 0,011	2,007 ± 0,021	2,019 ± 0,018
50	SA (%)	0,563 ± 0,383	0,942 ± 0,568	0,663 ± 0,723	1,669 ± 1,448
	PI (g.g <sup>-1</sup> )	1,965 ± 0,015	1,980 ± 0,06	2,018 ± 0,070	2,021 ± 0,063
60	SA (%)	0,942 ± 0,568	1,672 ± 0,030	3,023 ± 0,803	3,785 ± 2,431
	PI (g.g <sup>-1</sup> )	1,968 ± 0,040	2,011 ± 0,114	2,045 ± 0,042	2,067 ± 0,029
70	SA (%)	1,783 ± 1,137	4,066 ± 5,375	3,389 ± 2,427	5,418 ± 2,447
	PI (g.g <sup>-1</sup> )	2,204 ± 0,160	2,328 ± 0,180	2,066 ± 0,045	3,927 ± 1,532
80	SA (%)	3,836 ± 0,640	4,886 ± 1,210	4,121 ± 3,715	5,809 ± 2,364
	PI (g.g <sup>-1</sup> )	7,031 ± 1,595	9,687 ± 2,091	8,499 ± 7,481	9,921 ± 2,255

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Constata-se, para as féculas das duas variedades de inhame, seja ela nativa ou modificada, que ocorre aumento do poder de inchamento e da solubilidade em água quando se eleva a temperatura. O mesmo ocorreu com amido nativo de arroz estudado por ZAVAREZE et al. (2009), segundo os quais, quando a temperatura de uma suspensão de amido supera o limite de gelatinização, as ligações de hidrogênio são rompidas, as moléculas de água se ligam aos grupos hidroxilas liberados e os grânulos continuam se expandindo.

Sendo a solubilidade do amido em água uma consequência da lixiviação da amilose, o aumento na solubilidade das féculas ácido-modificadas de inhame pode indicar



que houve diminuição das forças entre as ligações químicas e diminuição das interações intermoleculares entre amilose e amilopectina e entre as próprias moléculas de amilpectina resultando em uma estrutura mais instável e ampliando a lixiviação das moléculas de amilose do interior dos grânulos de amido (GOMES et al., 2005).

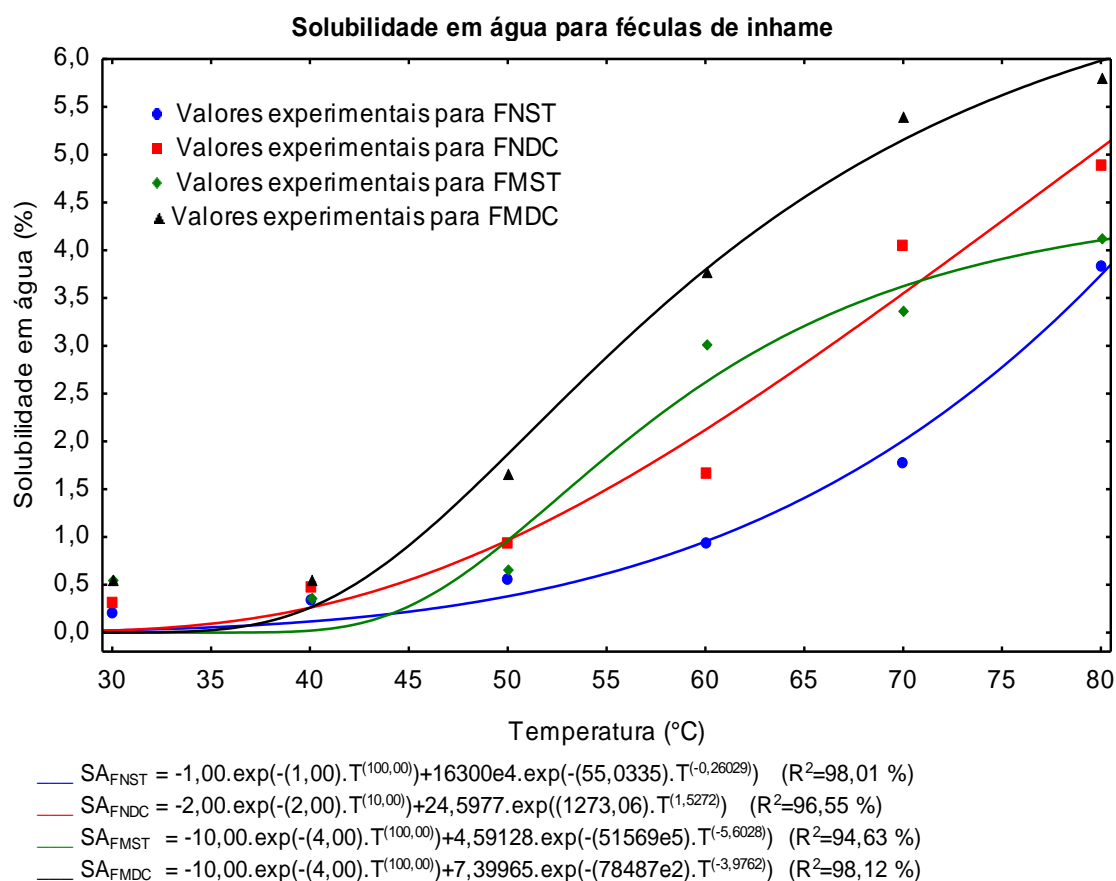
Em relação aos dados de poder de inchamento e solubilidade em água associados à variedade de inhame, observa-se que as féculas (nativa e modificada) do inhame São Tomé se apresentam com menores valores, o que se explica devido ao maior teor de amilose presente nestas féculas quando comparadas com as féculas (nativa e modificada) do inhame Da Costa (Tabela 4.8).

Segundo MATSUGUMA (2006), amidos ricos em amilose mostram poder de inchamento e solubilidade em água restritos, mesmo após um período prolongado de aquecimento. Em pesquisa realizada por LI & YEH (2001) constatou-se que o amido de milho com alto teor de amilose (43,5 %) apresentou valores de poder de inchamento entre 3,0 e 9,0 g.g<sup>-1</sup> e o amido de milho normal, com 25,1 % de amilose mostra maior variação de poder de inchamento (4,5 a 17,5 g.g<sup>-1</sup>) para as temperaturas de 55, 65, 75 e 85 °C. HUANG et al. (2010) investigaram féculas nativas de batata-doce e de inhame *Dioscorea alata* variedade Dasan e relataram poder de inchamento a 65, 75, 85 e 95 °C, variando entre 1,96 e 7,32 g.g<sup>-1</sup>, para a fécula de inhame que apresentou 31,28 % de amilose enquanto para a fécula de batata-doce com 26,35 % de amilose o poder de inchamento variou entre 5,23 e 16,38 g.g<sup>-1</sup>.

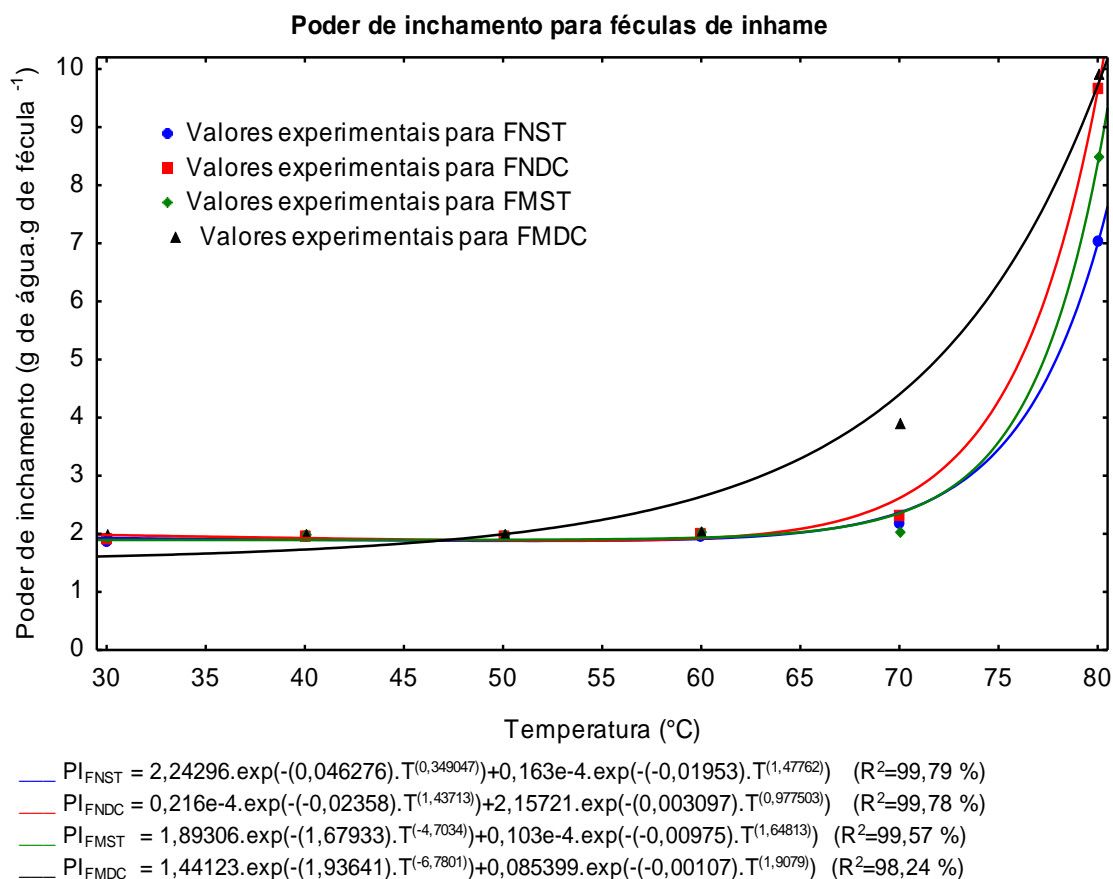
Analizando os dados contidos na Tabela 4.12, percebe-se que as féculas modificadas por ácido apresentam maior poder de inchamento que as féculas nativas e, consequentemente, se mostram mais solúveis em água. Amido nativo de milho foi modificado via hidrólise ácida, por MUCCILLO (2009), que mostrou que os amidos modificados tendem a ser mais solúveis em água que os amidos nativos. De acordo com BULÉON et al. (1998), a facilidade com que os grânulos de amido absorvem água pode ser afetada pelas diferentes densidades granulares apresentadas pelos diferentes tipos de amidos ou féculas. Este fato pode, possivelmente, ter contribuído para que as féculas modificadas apresentassem maiores valores de poder de inchamento e de solubilidade em água visto que são menos densas que as féculas nativas (Tabela 4.11), podendo haver mais interação com as moléculas de água e, portanto, maior lixiviação de amilose, conforme a

elevação da temperatura do sistema. FARIAS et al. (2012) afirmam que a alta solubilidade de um biofilme não o inviabiliza, necessariamente, visto que esta propriedade pode ser requerida em casos nos quais o biofilme tem que ser submetido ao contato com a água durante o processamento de determinado alimento desidratado embalado, por exemplo.

Os comportamentos das propriedades solubilidade em água e poder de inchamento para as féculas (nativas e modificadas) de inhames São Tomé e Da Costa foram relacionados diretamente com o aumento da temperatura e são mostradas nas Figuras 4.17 e 4.18.



**Figura 4.17** - Dados experimentais de solubilidade em água para féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e Da Costa e curvas estimadas pela equação exponencial



**Figura 4.18** - Dados experimentais de poder de inchamento para féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e Da Costa e curvas estimadas pela equação exponencial

Constatou-se, por essas curvas, que é possível descrever tanto o comportamento para solubilidade em água quanto para o poder de inchamento das féculas de inhame, frente à elevação de temperatura segundo uma equação exponencial do tipo  $y=a \cdot \exp(-b \cdot x^c)+d \cdot \exp(-h \cdot x^q)$ , em que  $y$  é o poder de inchamento ou a solubilidade em água,  $x$  é a temperatura e  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $h$  e  $q$ , são constantes de ajuste da equação.

#### 4.3.5 - Temperatura de gelatinização

Na Tabela 4.13 se encontram os valores da temperatura inicial ( $T_0$ ), temperatura de pico ( $T_p$ ), temperatura de conclusão ( $T_c$ ) e faixa de temperatura de gelatinização ( $T_c - T_0$ ), além dos valores de variação de entalpia ( $\Delta H$ ) do processo de gelatinização das féculas de inhame.

**Tabela 4.13** – Avaliação da temperatura de transição das féculas nativas e modificadas de inhame

Fécula	T <sub>0</sub> (°C)	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>c</sub> - T <sub>0</sub> (°C)	ΔH (J.g <sup>-1</sup> )
FNST	67,14	77,72	84,19	17,05	54,25
FMST	70,40	79,49	86,46	16,06	39,37
FNDC	69,63	76,06	81,00	11,37	15,03
FMDC	73,25	76,61	82,18	8,93	3,16

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Verifica-se que os valores variação de entalpia para as féculas nativa e modificada de inhame São Tomé são bastante elevados se comparados com amidos e féculas de outras fontes. Isto pode indicar que as moléculas de amilopectina contida nas féculas de inhame São Tomé se apresentam mais fortemente associadas que em outros amidos e féculas (PEREIRA, 2011).

Com base nos valores de ΔH apresentados na Tabela 4.13, verifica-se que as féculas nativas de inhame São Tomé e Da Costa são susceptíveis à hidrólise ácida, uma vez que, após a modificação para se gelatinizar a fécula modificada Da Costa, foram necessários 11,87 J.g<sup>-1</sup> a menos que a fécula nativa Da Costa (15,03 J.g<sup>-1</sup>) enquanto o processo de gelatinização da fécula modificada São Tomé requereu variação de entalpia 14,88 J.g<sup>-1</sup> a menos que a fécula nativa São Tomé (54,25 J.g<sup>-1</sup>). Esses resultados são semelhantes aos obtidos por MUCCILLO (2009) quando extraiu e modificou, via hidrólise ácida (com HCl) amido de pinhão. A autora relata diminuição da variação de entalpia no processo de gelatinização do amido de pinhão após o tratamento ácido (14,52 J.g<sup>-1</sup>) frente ao amido nativo (15,23 J.g<sup>-1</sup>). O mesmo não ocorreu com o amido de milho, que também foi ácido-modificado e evidenciou aumento da demanda energética para a gelatinização do amido modificado (18,30 J.g<sup>-1</sup>) em relação ao amido nativo (13,85 J.g<sup>-1</sup>); isto levou à afirmação de que o amido de pinhão se mostrou mais susceptível ao tratamento ácido ao qual foi submetido, que o amido de milho.

JAYAKODY et al. (2009) obtiveram fécula nativa e modificada de inhame (*Dioscorea alata* variedade Hingura) cultivado no Sri Lanka. A modificação procedida foi hidrotérmica (“annealing”). A fécula nativa foi obtida com faixa de temperatura de gelatinização de 78,17 a 92,70 °C e variação de entalpia igual a 18,98 J.g<sup>-1</sup>. De acordo

com dados publicados por HUANG et al. (2010), a fécula nativa de inhame (*Dioscorea alata* L.) variedade Dasan apresenta intervalo de temperatura de gelatinização de 72,97 a 91,17 °C com 12,57 J.g<sup>-1</sup> de variação de entalpia. Fécula de inhame (*Dioscorea opposita* Thunb.) foi estudada por ZHANG et al. (2011) que observou a faixa de temperatura de gelatinização de 70,11 a 84,30 °C ( $\Delta H = 10,54 \text{ J.g}^{-1}$ ) para a fécula nativa e para a fécula oxidada com periodato de sódio que continha 94,12 % de grupos aldeídos, a faixa encontrada foi de 75,84 a 85,25 °C ( $\Delta H = 8,02 \text{ J.g}^{-1}$ ). Segundo JIANG et al. (2013), o intervalo de temperatura compreendido entre 69,54 e 85,58 °C é necessário para que, em presença de excesso de água, ocorra a total gelatinização da fécula nativa de inhame (*Dioscorea opposita* Thunb. cv. Huai) sendo a variação de entalpia igual a 2,48 J.g<sup>-1</sup>.

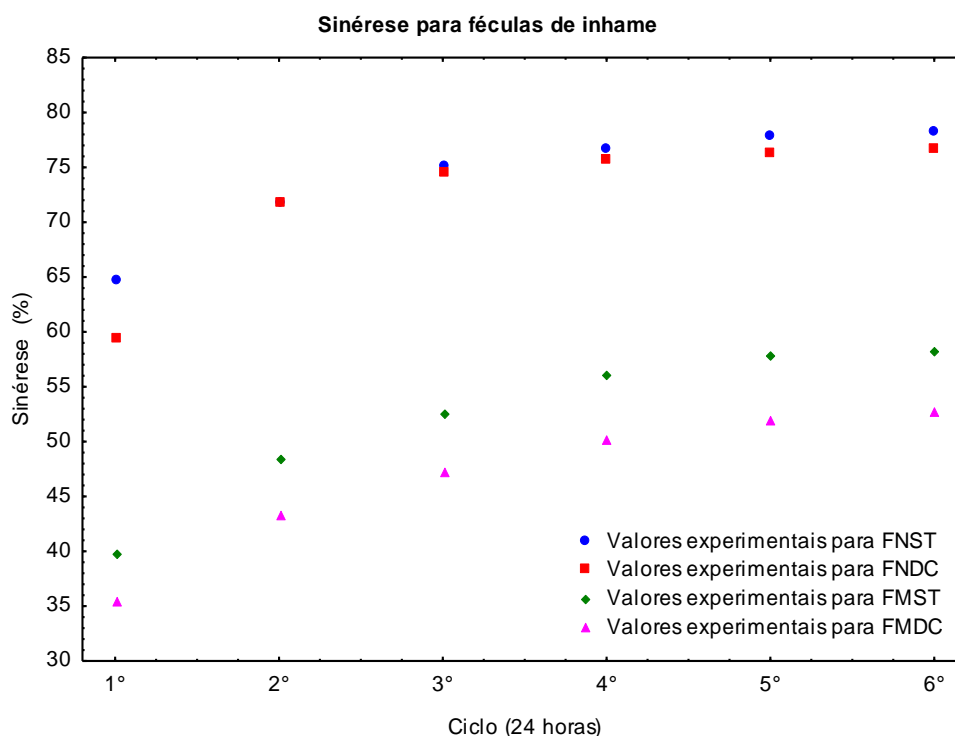
Observa-se, na Tabela 4.13 que, além da faixa de temperatura de gelatinização ser menor para as féculas modificadas, os valores de  $\Delta H$  para as féculas nativas são bastante elevados em relação aos das féculas modificadas sugerindo que a modificação química sofrida pelas féculas nativas afetou consideravelmente a estrutura interna dos grânulos que as formam.

Segundo PEREIRA (2011), no processo de gelatinização quanto maior o esforço para romper a estrutura granular do amido maior também é a energia necessária para tal e, portanto, maior o valor de  $\Delta H$  de gelatinização, o qual está relacionado à cristalinidade da amilopectina e com a força com que as duplas hélices formadas por suas cadeias estão associadas ao grânulo do amido.

O aumento das  $T_0$ ,  $T_c$  e  $T_p$  ocorre quando se analisam as féculas modificadas em relação às féculas nativas, o que está de acordo com ZAMBRANO & CAMARGO (2001) quando afirmam que amido modificado por ácido tem sua temperatura de gelatinização aumentada, afirmação passível de ser constatada na pesquisa MUCCILLO (2009), com amidos de pinhão e milho submetidos à hidrólise ácida.

#### 4.3.6 - Sinérese

O comportamento da sinérese no decorrer dos seis ciclos de congelamento e descongelamento das pastas das féculas nativas e modificadas de inhame São Tomé e Da Costa, é apresentado na Figura 4.19



**Figura 4.19** - Sinérese para as féculas nativas e modificadas dos inhames *Dioscorea alata* (São Tomé) e *Dioscorea cayennensis* (Da Costa)

A exsudação de água foi mais acentuada no 1º ciclo de congelamento e descongelamento de cada fécula; em seguida, a perda foi sendo reduzida a cada ciclo; na Tabela A.10 (Apêndice A) observa-se diferença significativa ao nível de 5 % de probabilidade quando se comparam os valores de sinérese das féculas dos inhames quanto ao fator variedade de inhame; tem-se, na Tabela 4.14, a comparação de médias para os dados de sinérese das féculas de inhame São Tomé e Da Costa.

**Tabela 4.14** - Comparação entre médias de sinérese acumulada das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame e tipo de fécula

Variedade de inhame	
São Tomé	68,31 a
Da Costa	64,74 b
Tipo de fécula	
Nativa	77,54 a
Modificada	55,50 b

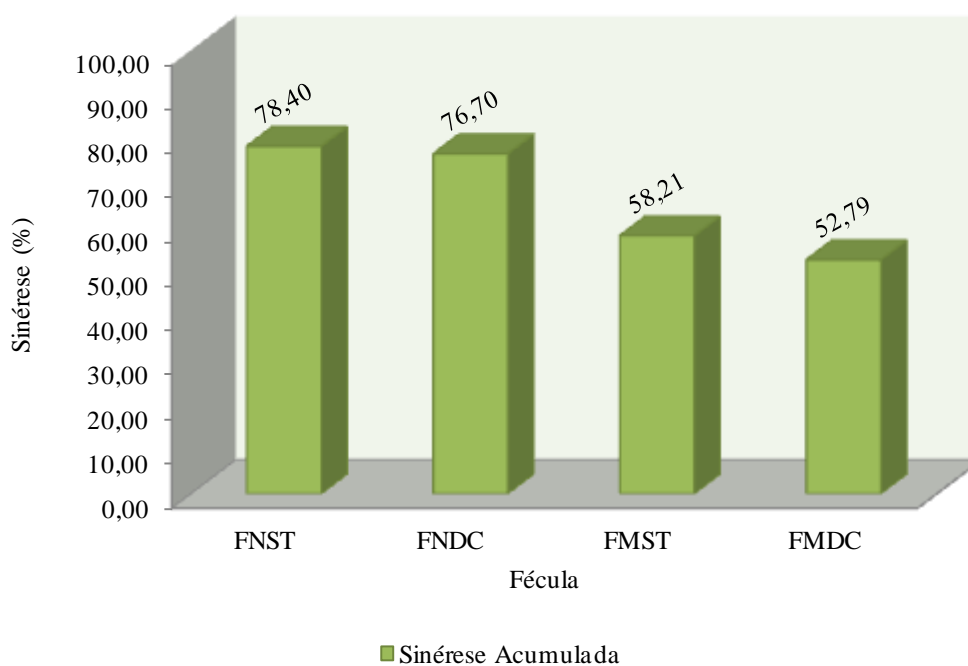
Para sinérese acumulada - DMS = 3,18939; MG = 66,52358; CV = 3,60%

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A fécula do inhame São Tomé apresenta maior percentual de sinérese em relação à fécula do inhame da Costa. Observa-se que, ao nível de 1 % de probabilidade, ocorre diferença estatisticamente significativa entre os valores da quantidade média de água liberada pela pasta da fécula nativa e da fécula modificada via hidrólise ácida.

Na Figura 4.20 se encontram os valores das sinéreses acumuladas em 6 ciclos de congelamento de descongelamento para as féculas nativas e modificadas dos inhames *Dioscorea alata* (São Tomé) e *Dioscorea cayennensis* (Da Costa).



**Figura 4.20** - Sinérese acumulada em 6 ciclos de congelamento de descongelamento para as féculas nativas e modificadas dos inhames *Dioscorea alata* (São Tomé) e *Dioscorea cayennensis* (Da Costa)

Cada ciclo de congelamento e descongelamento teve duração de 24 horas; obtiveram-se sinéreses acumuladas superiores a 76 % para as féculas nativas e a 52 % para as féculas modificadas. Comparando esses resultados com os valores de sinérese encontrados por SAHORÉ et al. (2007) para fécula de inhame *Dioscorea bulbifera* (tuber), percebe-se que as féculas de inhame São Tomé e Da Costa, tanto as nativas quanto as modificadas, apresentam menor estabilidade tendo em vista que o percentual médio de sinérese para a fécula de *Dioscorea bulbifera* (tuber) foi de 55 % ao final de 5 ciclos compostos por uma semana cada.

A partir da Figura 4.20 nota-se que a porcentagem de água exsudada para as féculas modificadas foi significativamente menor que as das féculas nativas após o congelamento por 6 dias. Isto pode ser explicado devido ao menor teor de amilose nas féculas modificadas já que, segundo ISHIGURO et al. (2000), este fenômeno ocorre, provavelmente, na amilose e nas cadeias mais longas da amilopectina. Tal resultado indica que as féculas ácido-modificadas de inhame apresentam menor propensão à retrogradação, visto que para WANG et al. (2010) e CORREIA et al. (2013) o efeito da sinérese também é um indicador de retrogradação e, portanto, da estabilidade do amido ou fécula. Resultado inverso foi observado por MUCCILLO (2009) que submeteu amidos nativos de pinhão e milho a modificação ácida e constatou que após o congelamento durante 6 dias os amidos modificados apresentaram maior sinérese, não favorecendo a estabilidade das pastas de amido ao congelamento e descongelamento. Neste trabalho a autora destaca sinérese de 4,91 % e 18,84 % para os amidos nativo e modificado de pinhão, respectivamente, enquanto os amidos nativo e modificado de milho apresentaram sinérese mais elevada, 18,84 % e 19,70 %, respectivamente.

#### 4.3.7 - Claridade da pasta

Na Tabela 4.15 se encontram os dados referentes à porcentagem de transmitância das pastas das féculas de inhame (São Tomé e Da Costa) armazenadas a 5 °C durante 16 dias.

**Tabela 4.15** - Valores médios e desvios padrões para claridade das pastas das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fécula	Transmitância (%)		
	0 dias	8 dias	16 dias
FNST	22,22 ± 0,268	4,30 ± 0,071	3,42 ± 0,148
FNDC	22,36 ± 0,195	6,04 ± 0,089	3,66 ± 0,055
FMST	78,10 ± 0,292	3,86 ± 0,055	3,72 ± 0,045
FMDC	79,96 ± 0,219	3,76 ± 0,055	3,72 ± 0,045

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

O maior teor de amilose presente nas féculas nativas (cerca de 38,5 %) em relação às féculas modificadas (em torno de 25,0 %) de inhame é um fator cuja influência se dirige



no sentido de que as pastas provenientes das féculas nativas sejam mais opacas que as féculas modificadas. Conforme MATSUGUMA (2006), amidos com maiores teores de amilose produzem pastas mais opacas enquanto teores menores propiciam pastas mais claras.

MUCCILLO (2009) constatou que para amidos de pinhão e milho, tanto nativo como modificado por ácido, as pastas de amido de pinhão são mais claras devido ao menor teor de amilose (26,3 %) e as pastas de amido de milho, com 30,0 % de amilose, se encontram mais opacas.

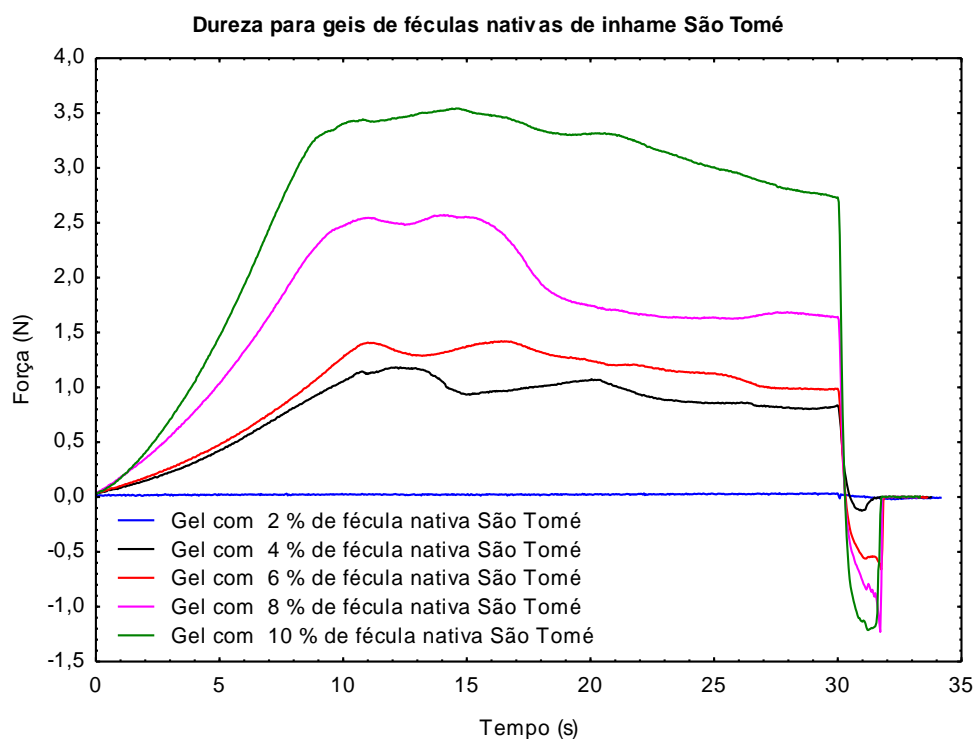
Observa-se que a claridade entre as pastas das féculas nativas ou féculas modificadas dos inhames São Tomé e Da Costa é semelhantes; inicialmente, as pastas das féculas nativas se apresentaram mais opacas (cerca de 22 % de transmitância) que as féculas modificadas (em torno de 78 % de transmitância). A partir do oitavo dia de armazenamento percebe-se tendência a estabilização dos valores de transmitância, confirmada ao final de dezesseis dias de armazenamento (próximos a 3,5 % de transmitância). Esta redução da claridade das pastas está de acordo com STAHL et al. (2007), ao afirmar que os polissacarídeos presentes no amido tendem a retrogradar e tornar as pastas mais opacas no decorrer do tempo de armazenamento. Segundo MATSUGUMA (2006), a maior compactação das moléculas de amilose e amilopectina durante a retrogradação proporciona maior dificuldade à passagem de luz, ocasionando menor porcentagem de transmitância da pasta de amido.

Algumas féculas nativas de diferentes espécies de inhame (*Dioscorea* sp.) foram avaliadas por SAHORÉ et al. (2007) quanto à claridade da pasta durante quatro semanas de armazenamento, a 6 °C. Claridades mais elevadas nas primeira e quarta semanas, foram apresentadas pela fécula de *Dioscorea togoensis* com 48 e 37 % de transmitância, enquanto a fécula proveniente do inhame *Dioscorea bulbifera* (bulbil) se mostrou mais opaca desde o início do armazenamento com 25,5 % até o final das quatro semanas quando esteve com 25,0 % de transmitância. APLEVICZ & DEMIATE (2007) encontraram, após a gelatinização da pasta de fécula nativa de mandioca média de transmitância de 55,70 % e para fécula modificada comercial, a pasta formada apresentou 71,15 % de transmitância.

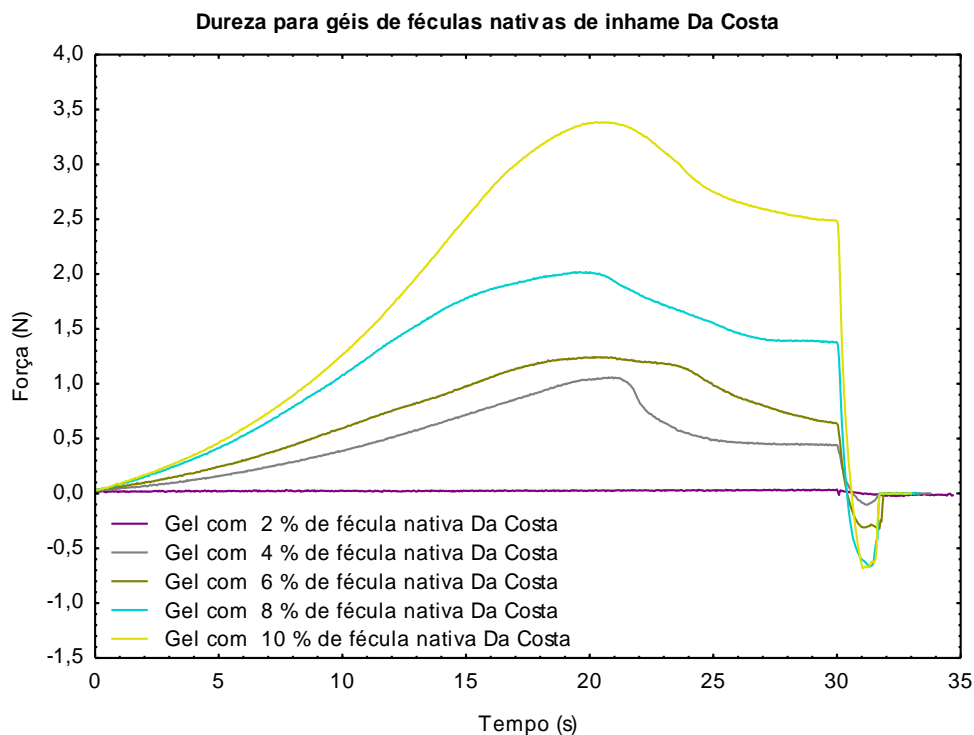
#### 4.3.8 - Perfil de textura do gel

Nas figuras a seguir estão representadas as curvas médias típicas de comportamento dos atributos dureza e adesividade para os geis de féculas nativas de inhame São Tomé (Figura 4.21), geis de féculas nativas de inhame Da Costa (Figura 4.22), geis de féculas modificadas de inhame São Tomé (Figura 4.23) e para os geis de féculas modificadas de inhame Da Costa (Figura 4.24).

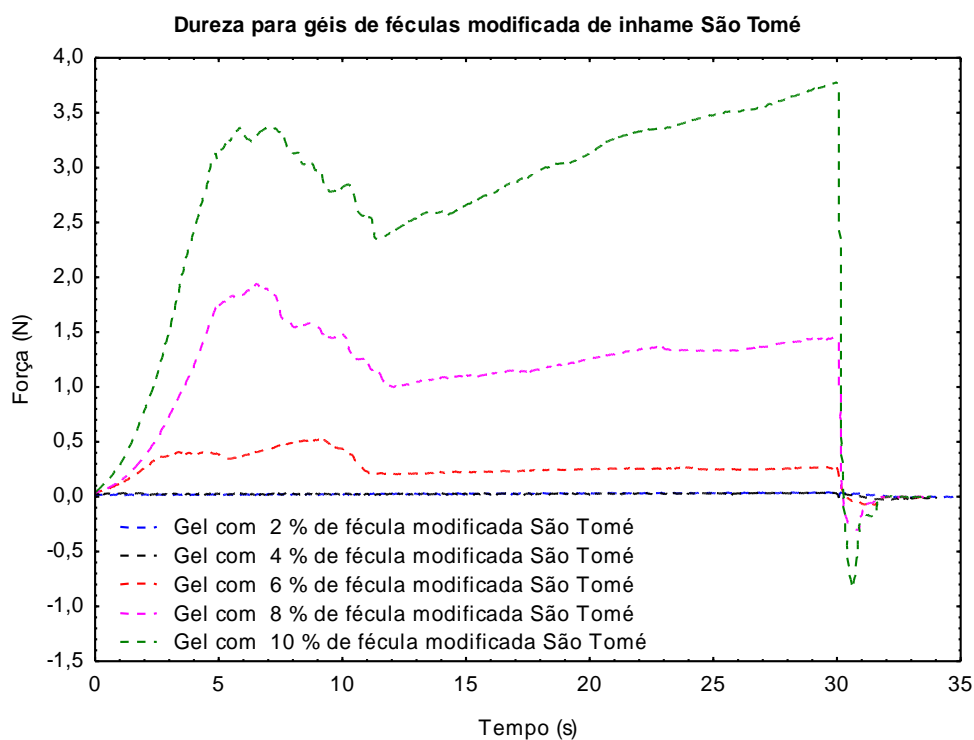
Analisando essas figuras percebe-se que a força máxima requerida para perfurar 15 mm da amostra é maior nas curvas de textura referentes aos geis com féculas de inhame São Tomé em relação aos geis com féculas provenientes da variedade Da Costa e ainda que geis com maior concentração de fécula são mais firmes.



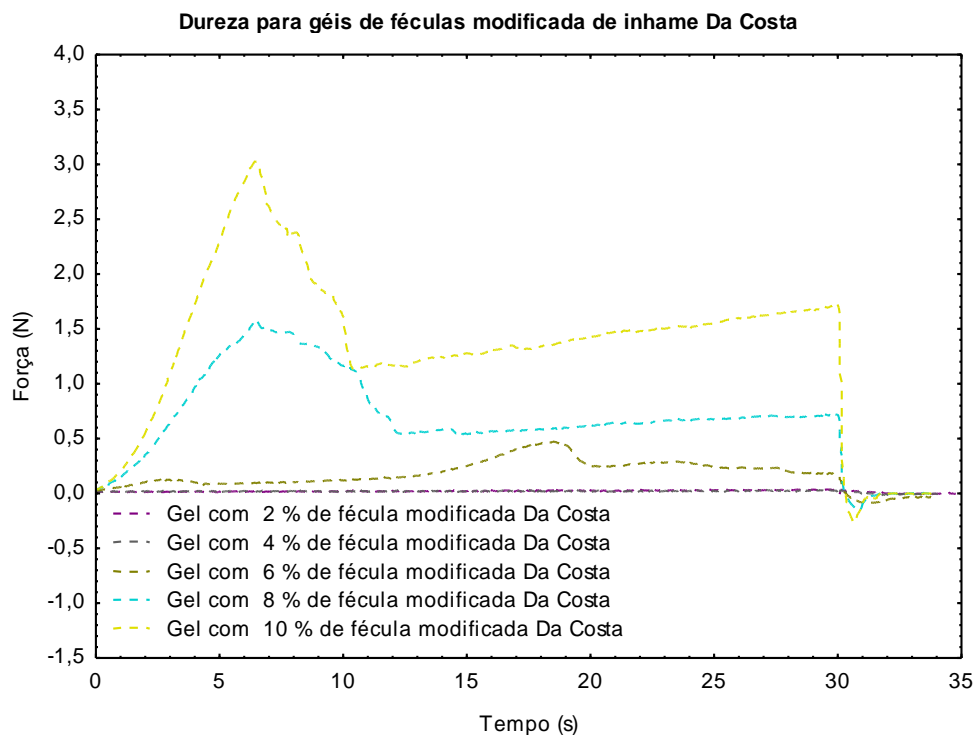
**Figura 4.21** - Dureza do gel com fécula nativa de inhame variedade São Tomé



**Figura 4.22** - Dureza do gel com fécula nativa de inhame variedade Da Costa



**Figura 4.23** - Dureza do gel com fécula modificada de inhame variedade São Tomé



**Figura 4.24** - Dureza do gel com fécula modificada de inhame variedade Da Costa

O comportamento desses perfis de textura é confirmado pelos valores dos dados relativos aos parâmetros de dureza e adesividade dos géis com diferentes concentrações de féculas de inhame, presentes na Tabela 4.16.

Verifica-se que, de forma geral, o aumento progressivo tanto dos valores de dureza quanto de adesividade dos géis é decorrente do incremento na concentração de fécula; como consequência disto, se aumenta o teor de amilose no gel, o que é razão para a elevação da dureza do gel.

De acordo com SANDHU & SINGH (2007) e OLIVEIRA (2007), amidos com maior teor de amilose e longas cadeias de amilopectina em sua composição tendem a formar géis mais firmes. Esses autores ressaltam que quanto maior a dureza do gel maior tende a ser a retrogradação e, consequentemente, a sinérese deste amido, evento confirmado pelos dados de sinérese apresentados na corrente pesquisa.

**Tabela 4.16** - Valores médios e desvios padrão para a dureza e a adesividade dos geis de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Gel	Concentração de fécula (%)	Dureza (N)	Adesividade (N.s)
Gel de FNST	2	0,044 ± 0,002	0,031 ± 0,007
	4	1,277 ± 0,013	0,080 ± 0,029
	6	1,481 ± 0,092	0,712 ± 0,090
	8	2,560 ± 0,114	1,058 ± 0,156
	10	3,746 ± 0,282	1,387 ± 0,596
Gel de FNDC	2	0,042 ± 0,003	0,047 ± 0,004
	4	1,080 ± 0,024	0,069 ± 0,010
	6	1,266 ± 0,093	0,362 ± 0,026
	8	2,049 ± 0,040	0,639 ± 0,122
	10	3,419 ± 0,268	0,560 ± 0,197
Gel de FMST	2	0,048 ± 0,001	0,007 ± 0,001
	4	0,044 ± 0,002	0,048 ± 0,005
	6	0,531 ± 0,024	0,077 ± 0,036
	8	1,991 ± 0,141	0,224 ± 0,042
	10	3,472 ± 0,213	0,482 ± 0,082
Gel de FMDC	2	0,043 ± 0,003	0,005 ± 0,002
	4	0,037 ± 0,001	0,017 ± 0,003
	6	0,476 ± 0,014	0,186 ± 0,008
	8	1,735 ± 0,150	0,092 ± 0,006
	10	3,063 ± 0,160	0,143 ± 0,033

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

O atributo dureza do gel foi influenciado ao nível de 1 % de probabilidade pelos fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de fécula utilizada na elaboração do gel, conforme análise de variância na Tabela A.11 (Apêndice A). Também foram significativas as interações entre variedade de inhame e tipo de fécula e entre variedade de inhame e concentração de fécula. Nas Tabelas 4.17 a 4.19 se encontram as comparações entre as médias desta análise.

**Tabela 4.17** - Comparação entre médias de dureza dos geis das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de fécula

Variedade de inhame	
São Tomé	1,696 a
Da Costa	1,144 b
Tipo de fécula	
Nativa	1,519 a
Modificada	1,321 b
Concentração de fécula (%)	
2	0,044 e
4	0,609 d
6	0,939 c
8	2,084 b
10	3,425 a

Para os fatores variedade de inhame e tipo de fécula - DMS = 0,06374; MG = 1,42012; CV = 8,60 %

Para o fator concentração de fécula - DMS = 0,14235; MG = 1,42012; CV = 8,60 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Os dados contidos na Tabela 4.17 revelam que, em detrimento dos geis elaborados com féculas originadas do inhame Da Costa, os geis obtidos a partir de féculas de inhame São Tomé são mais rígidos. Os dados indicam, ainda, que os geis apresentam diferença estatística em relação ao tipo de fécula, sendo mais rígidos os geis de féculas nativas. Analisando quanto à concentração de fécula, percebe-se que a dureza aumenta quanto maior for o percentual de fécula presente na formulação do gel.

**Tabela 4.18** - Comparação entre médias da dureza dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e concentração de fécula

Variedade de inhame	Concentração de fécula				
	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %
São Tomé	0,043 aD	1,178 aC	1,374 aC	2,305 aB	3,583 aA
Da Costa	0,045 aD	0,041 bD	0,504 bC	1,863 bB	3,268 bA

Para colunas - DMS = 0,1425; MG = 1,42012; CV = 8,60 %

Para linhas - DMS = 0,2013; MG = 1,42012; CV = 8,60 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Analisando a Tabela 4.18, percebe-se que apenas os valores de dureza dos geis elaborados com 2 % de féculas, independente de ser de inhame São Tomé ou Da Costa, são iguais entre si. Os valores de consistência referentes aos geis com maiores concentrações de fécula revelam que geis com féculas de inhame Da Costa têm menor dureza. Com relação ao fator variedade de inhame (linhas) constata-se que maiores quantidades de fécula elevam a rigidez dos geis quando se utilizam as féculas, tanto da variedade São Tomé quanto Da Costa.

**Tabela 4.19** - Comparação entre médias da dureza dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores tipo de fécula e concentração de fécula

Tipo de fécula	Concentração de fécula				
	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %
<b>Nativa</b>	0,046 aE	0,660 aD	1,006 aC	2,275 aB	3,609 aA
<b>Modificada</b>	0,043 aE	0,558 aD	0,871 aC	1,892 bB	3,241 bA

Para colunas - DMS = 0,1425; MG = 1,42012; CV = 8,60 %

Para linhas - DMS = 0,2013; MG = 1,42012; CV = 8,60 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Os dados relativos à dureza dos geis para a interação tipo de fécula x concentração de fécula (Tabela 4.19) evidenciam que, considerando a concentração de fécula somente geis com 2 %, 4 % ou 6 % de fécula possuem valores de dureza iguais entre si, sejam eles compostos por féculas nativas ou modificadas; portanto, novamente, fica claro que geis com féculas nativas apresentam maior dureza sendo os elaborados com 10 % de fécula, mais rígidos.

Na Tabela A.12 (Apêndice A) se encontra a análise de variância da adesividade para os geis de fécula de inhames São Tomé e Da Costa. Este parâmetro foi significativamente influenciado ao nível de 1 % de probabilidade pelos fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de fécula (Tabela 4.20) e pelas interações variedade de inhame x tipo de fécula (Tabela 4.21), variedade de inhame x concentração de fécula (Tabela 4.22) e tipo de fécula x concentração de fécula (Tabela 4.23).

**Tabela 4.20** - Comparação entre médias de adesividade dos geis das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de fécula

Variedade de inhame	
São Tomé	0,494 a
Da Costa	0,128 b
Tipo de fécula	
Nativa	0,411 a
Modificada	0,212 b
Concentração de fécula (%)	
2	0,022 c
4	0,053 c
6	0,335 b
8	0,503 ab
10	0,643 a

Para os fatores variedade de inhame e tipo de fécula - DMS = 0,07864; MG = 0,31132; CV = 48,38 %

Para o fator concentração de fécula - DMS = 0,17565; MG = 0,31132; CV = 48,38 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

De maneira sucinta, nota-se que féculas nativas proporcionam obtenção de geis com maior adesividade, da mesma forma que os geis compostos por féculas originadas de inhame São Tomé. Quanto à concentração de fécula percebe-se que não há diferença de adesividade entre os geis com 2 % e 4 % de fécula. As quantidades de 6 % e 8 % de féculas presentes nas formulações produzem geis de iguais adesividades entre si enquanto para os geis obtidos com 8 % e 10 %, não se observa diferença significativa quanto a este atributo de textura.

**Tabela 4.21** - Comparação entre médias da adesividade dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula

Variedade de inhame	Tipo de fécula	
	Nativa	Modificada
São Tomé	0,654 aA	0,335 aB
Da Costa	0,168 bA	0,089 bA

Para colunas - DMS = 0,1112; MG = 0,31132; CV = 48,38 %

Para linhas - DMS = 0,1112; MG = 0,31132; CV = 48,38 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade



Apesar dos geis com féculas nativas e modificadas de inhame Da Costa permanecerem com adesividade estatisticamente iguais com relação à interação variedade de inhame x tipo de fécula (Tabela 4.21), constata-se o que foi observado anteriormente, em que valores mais elevados de dureza para os geis são encontrados quando se faz uso de féculas de inhame São Tomé, sobretudo se for nativa.

**Tabela 4.22** - Comparação entre médias da adesividade dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e concentração de fécula

Variedade de inhame	Concentração de fécula				
	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %
<b>São Tomé</b>	0,039 aC	0,074 aC	0,537 aB	0,849 aA	0,974 aA
<b>Da Costa</b>	0,006 aB	0,033 aB	0,132 bAB	0,158 bAB	0,313 bA

Para colunas - DMS = 0,1759; MG = 0,31132; CV = 48,38 %

Para linhas - DMS = 0,2484; MG = 0,31132; CV = 48,38 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação.

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Na Tabela 4.22 é visível que considerando a variedade para os geis elaborados com féculas de inhame São Tomé, aqueles com 2 % e 4 % de fécula apresentam adesividades estatisticamente iguais, assim como os geis compostos por 8 % e 10 % de fécula não diferem entre si; já quando se analisam os geis provenientes das féculas de inhame Da Costa, percebe-se que aqueles com quantidade de fécula de 2 %, 4 %, 6 % e 8 % não diferem estatisticamente entre si quanto à adesividade e ainda que há igualdade entre os geis com 6 %, 8 % e 10 %, apesar desses últimos serem mais adesivos. De modo geral, constata-se que um aumento na concentração de fécula resulta em aumento da adesividade da amostra, para as duas variedades analisadas.

**Tabela 4.23** - Comparação entre médias da adesividade dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores tipo de fécula e concentração de fécula

Tipo de fécula	Concentração de fécula (%)				
	2	4	6	8	10
<b>Nativa</b>	0,019 aC	0,064 aC	0,395 aB	0,641 aB	0,935 aA
<b>Modificada</b>	0,026 aC	0,043 aBC	0,274 aAB	0,366 bA	0,351 bA

Para colunas - DMS = 0,1759; MG = 0,31132; CV = 48,38 %

Para linhas - DMS = 0,2484; MG = 0,31132; CV = 48,38 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

A classificação de médias apresentada na Tabela 4.23, revela a igualdade existente em relação ao atributo adesividade quando a concentração de fécula é 2 %, 4 % e 6 % em geis de féculas nativas e modificadas. Analisando-se geis apenas com féculas nativas, é possível verificar que sua adesividade com 2 % e 4 % de fécula é igual, da mesma maneira como os geis com 6 % e 8 % do carboidrato também são semelhantes entre si; para o caso das féculas modificadas a igualdade relativa à adesividade é encontrada para geis com 2 % e 4 %, entre geis com 4 % e 6 % e entre geis com 6 %, 8 % e 10 % das féculas modificadas.

Suspensão aquosa com 8 % de amido nativo de grão de bico tipo “kabuli” originou geis com variação de dureza entre 0,72 e 1,00 N e valores de adesividade que variaram de 0,0004 a 0,0012 N.s (OLIVEIRA et al. 2009). Utilizando diferentes concentrações de amido de trigo CHOI & KERR (2003) relataram aumento nos valores de firmeza dos geis de 2,03 N para 11,38 N em geis de amidos nativos e de 0,34 N para 1,57 N, no caso de geis de amidos modificados (hidroxipropilados), quando o teor do amido era elevado de 25 % para 40 %.

Estudando féculas nativas de cultivares diferentes de batata, KAUR et al. (2007) verificaram que a dureza para o gel originário da fécula da variedade Kufri Ashoka, com 24,25 % de amilose, foi maior (0,190 N) que a do gel da fécula de batata Kufri Kunder (0,186 N) que apresentava menor teor de amilose (27,53 %). Resultado contrário foi identificado para os geis analisados na corrente pesquisa, em que geis elaborados com mesma concentração de féculas (nativas ou modificadas) de inhame São Tomé, compostas de 38,8 % de amilose, são mais rígidos que aqueles obtidos a partir de féculas (nativas ou modificadas) de inhame Da Costa, com menor teor de amilose (25,7 %). Este fato condiz

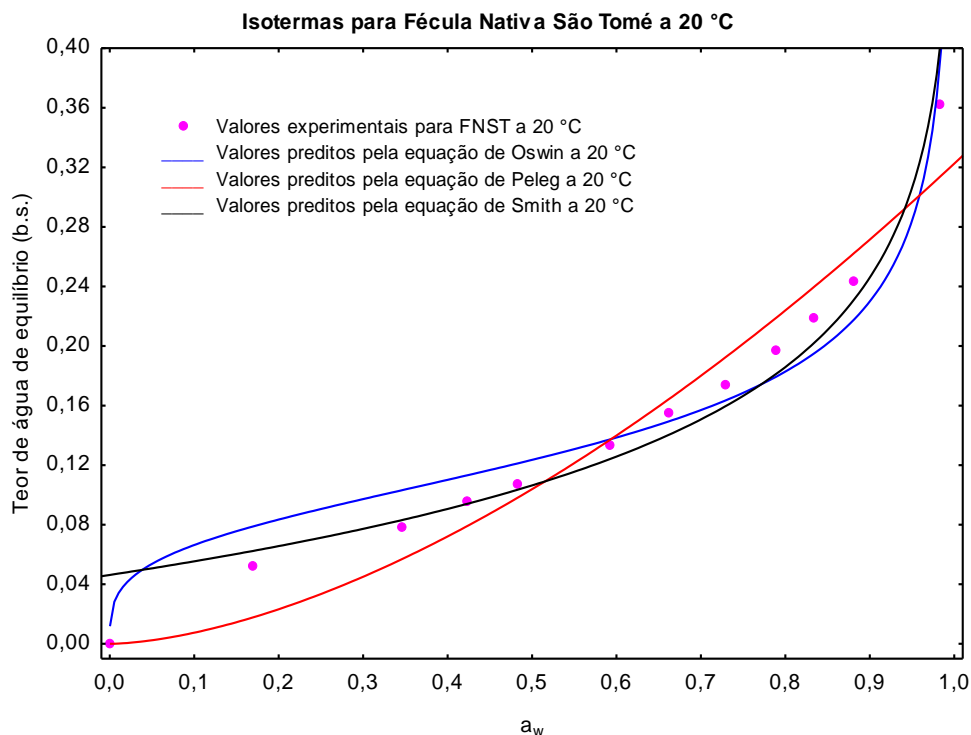
com o que foi constatado por ZAVAREZE et al. (2010) que avaliaram geis de amidos nativo de arroz e concluíram que os geis de amido nativo com alto teor de amilose são mais consistentes (4,91 N) que os obtidos de amidos com baixo teor de amilose (0,44 N).

Geis com 6 % de amidos nativos de milho variedades “african tall” e “partab” tiveram seus valores de dureza do gel iguais a 0,215 e 0,323 N, respectivamente (SANDHU & SINGH, 2007). Esses resultados são inferiores aos encontrados para dureza em geis com mesma concentração de féculas nativas de inhame São Tomé (1,48 N) e Da Costa (1,27 N). É possível que esta diferença seja em função do teor de amilose que, para as féculas nativas dos milho das variedades “african tall” e “partab” na pesquisa citada, foram de 16,9 % e 18,5 %. RODÁN-SANABRIA & FINARD-FILHO (2009) observaram 1,096 N e 0,910 N.s como valores de dureza e adesividade, respectivamente, em geis com 6 % de féculas nativas de mandioca. Valores semelhantes foram encontrados para geis com mesma concentração de féculas nativas de inhame São Tomé (Tabela 4.16).

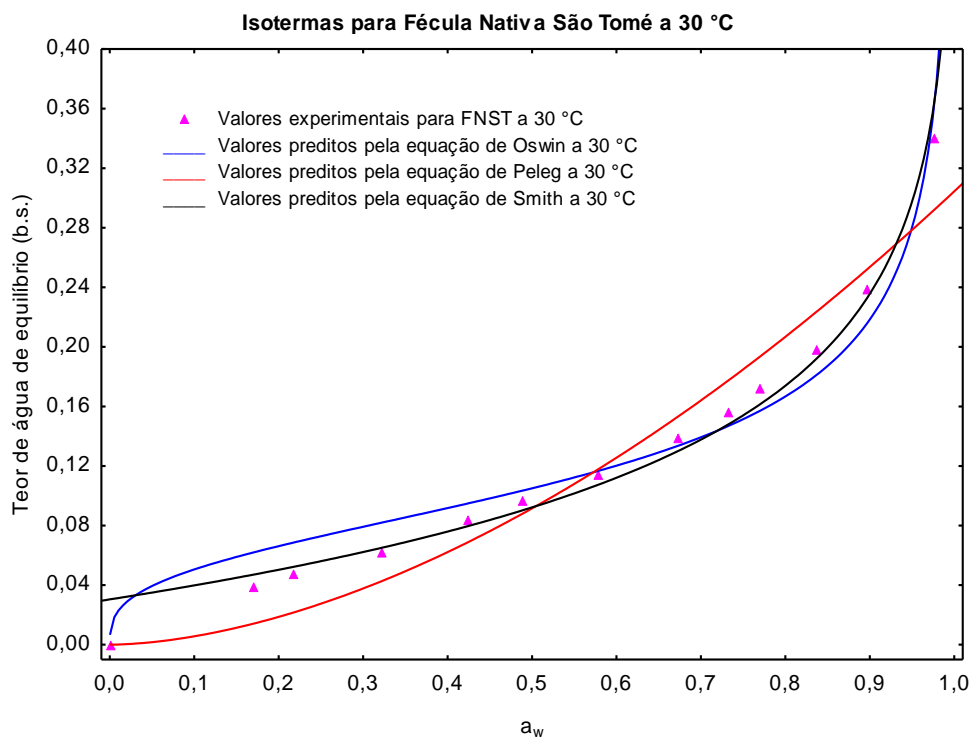
#### **4.3.9 - Isotermas de sorção de água**

Nas Figuras 4.25, 4.26 e 4.27 se encontram as isotermas de sorção de água para a fécula nativa de inhame São Tomé nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente; nessas figuras também estão representados os ajustes das equações de Oswin, Peleg e Smith aos dados experimentais.

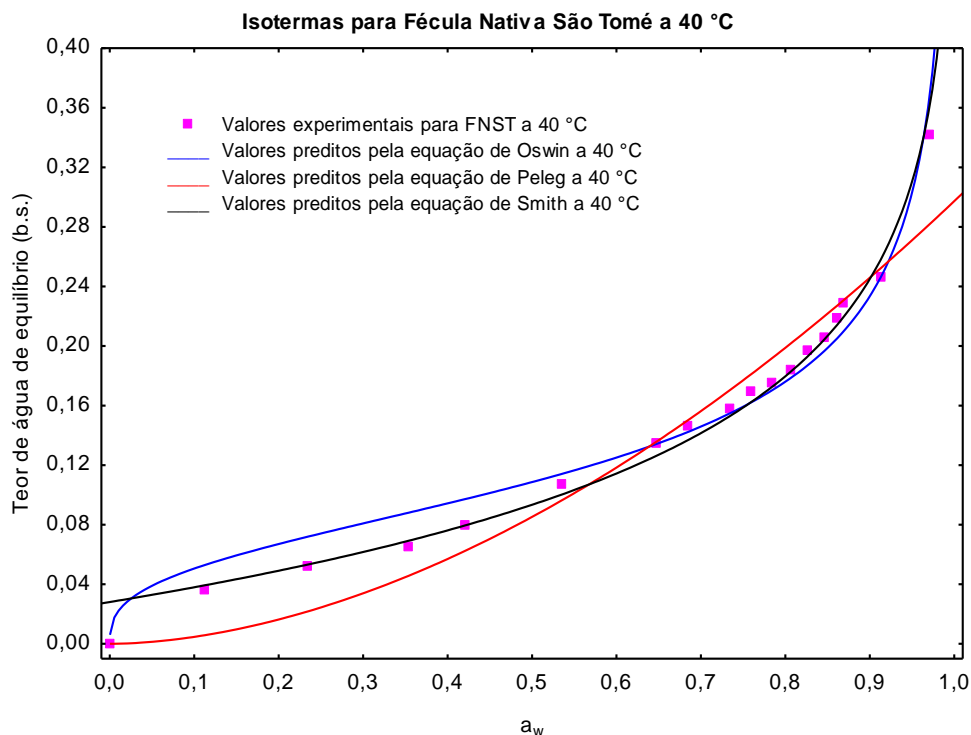
As isotermas de sorção de água para a fécula nativa de inhame Da Costa nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C e as equações de Oswin, Peleg e Smith ajustadas aos dados experimentais, estão expostas nas Figuras 4.28, 4.29 e 4.30, respectivamente.



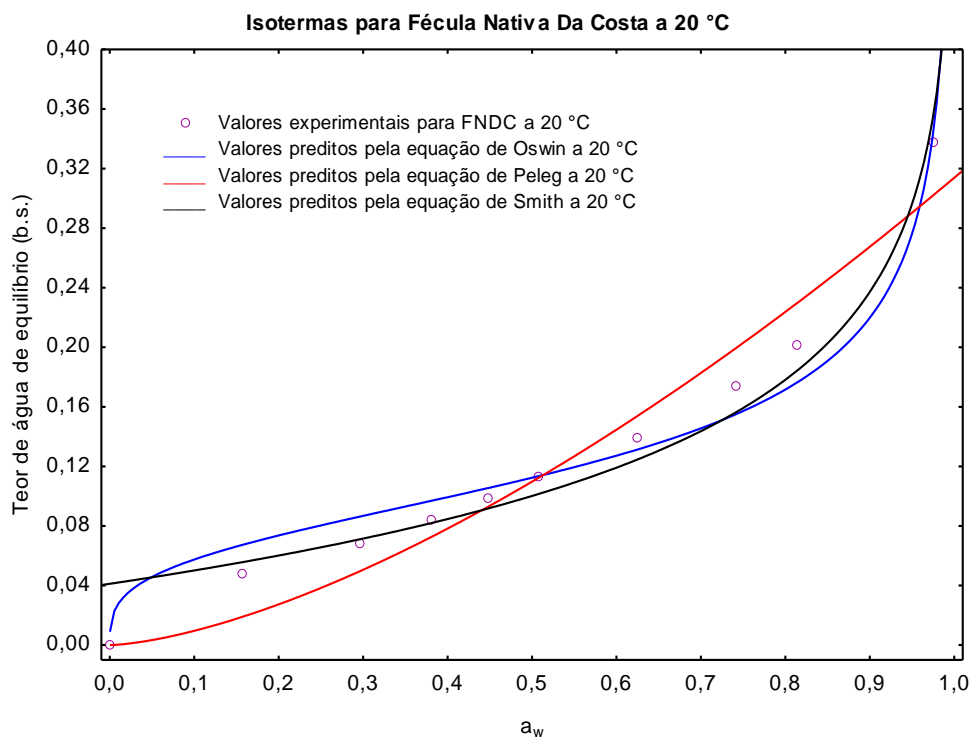
**Figura 4.25** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 20 °C para a fécula nativa de inhame variedade São Tomé (FNST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith



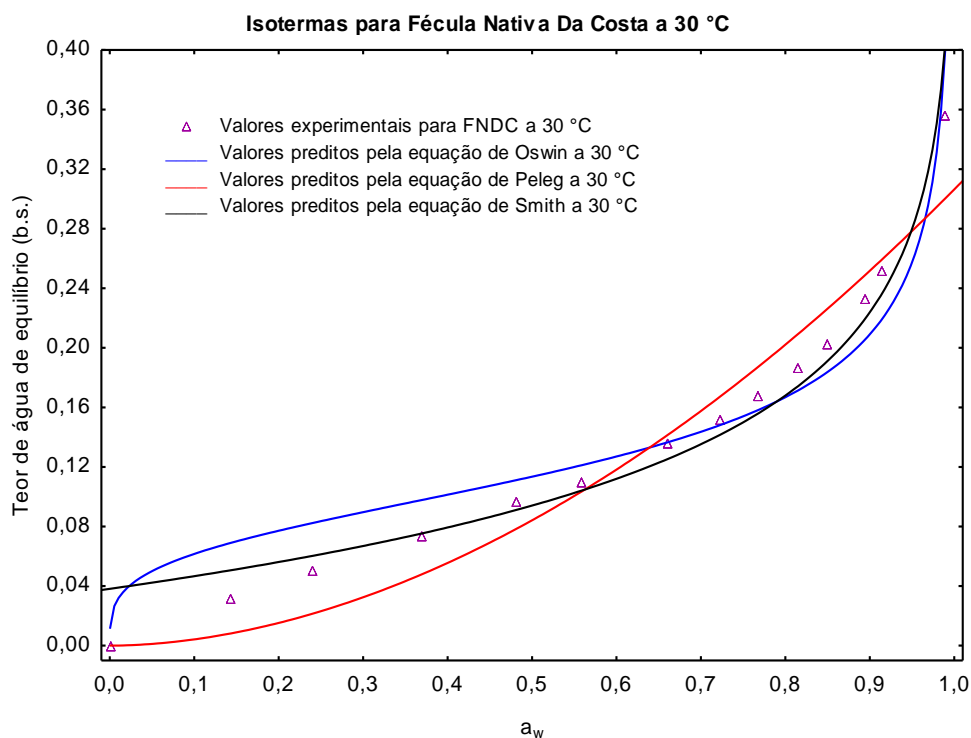
**Figura 4.26** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 30 °C para a fécula nativa de inhame variedade São Tomé (FNST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith



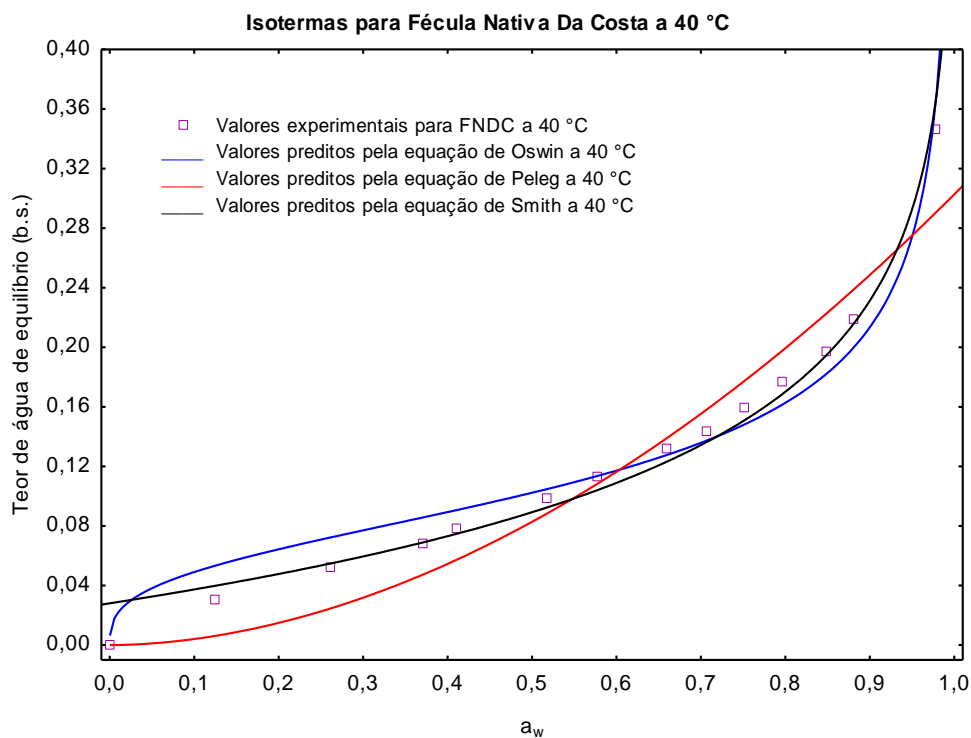
**Figura 4.27** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 40 °C para a fécula nativa de inhame variedade São Tomé (FNST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith



**Figura 4.28** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 20 °C para a fécula nativa de inhame variedade Da Costa (FNDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith



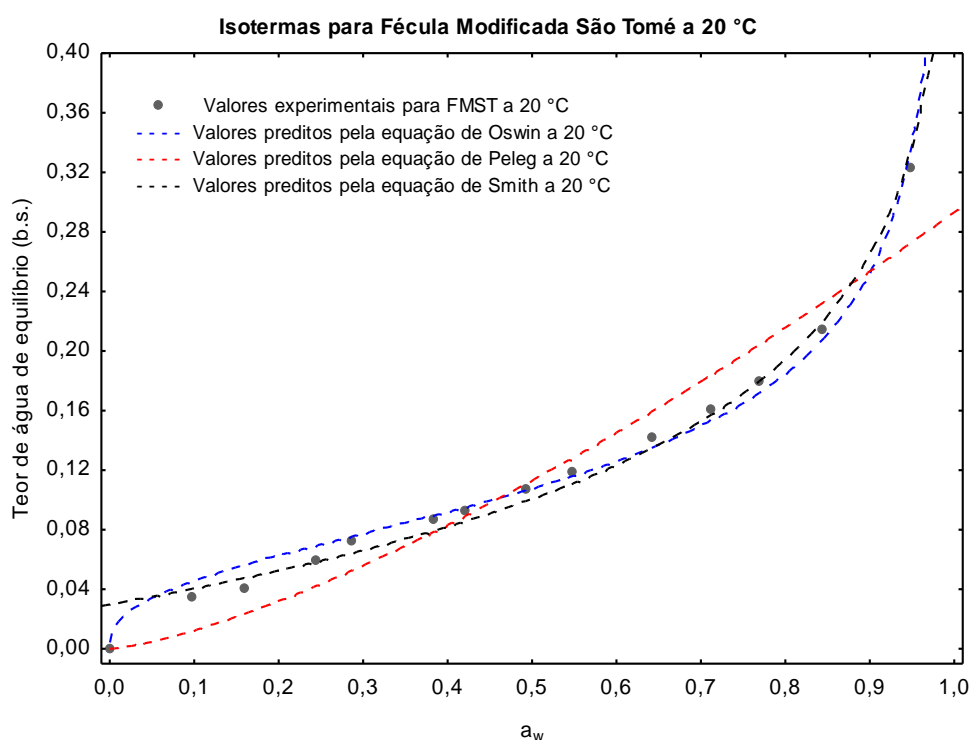
**Figura 4.29** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 30 °C para a fécula nativa de inhame variedade Da Costa (FNDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith



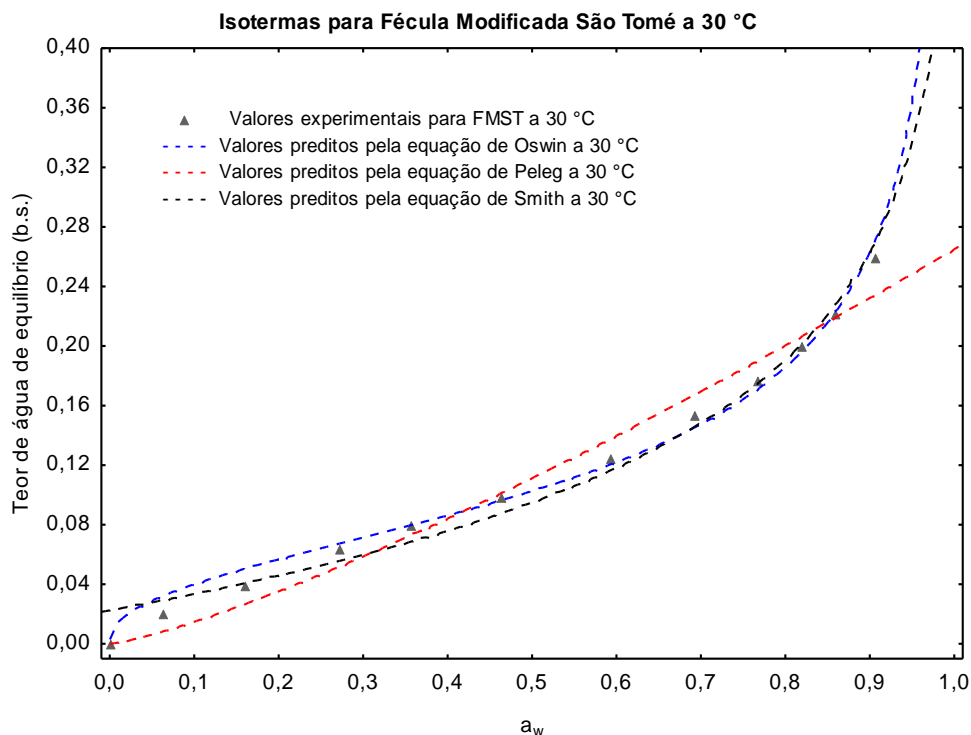
**Figura 4.30** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 40 °C para a fécula nativa de inhame variedade Da Costa (FNDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith

Para as féculas modificadas tem-se nas Figuras 4.31, 4.32 e 4.33, respectivamente, a representação das isotermas de sorção de água para a fécula modificada de inhame São Tomé nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, tal como o ajuste matemático das equações de Oswin, Peleg e Smith aos dados experimentais.

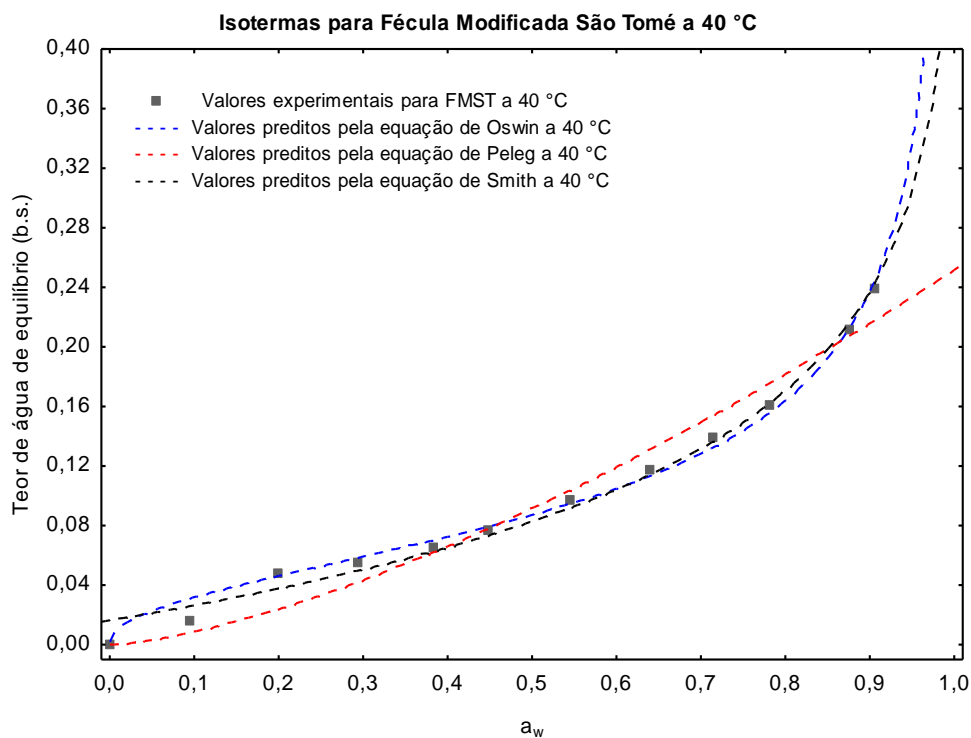
Para as féculas modificadas provenientes do inhame Da Costa constam as isotermas nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, respectivamente, nas Figuras 4.34, 4.35 e 4.36, além das curvas obtidas pelo ajuste matemático das equações de Oswin, Peleg e Smith aos dados experimentais.



**Figura 4.31** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 20 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade São Tomé (FMST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith

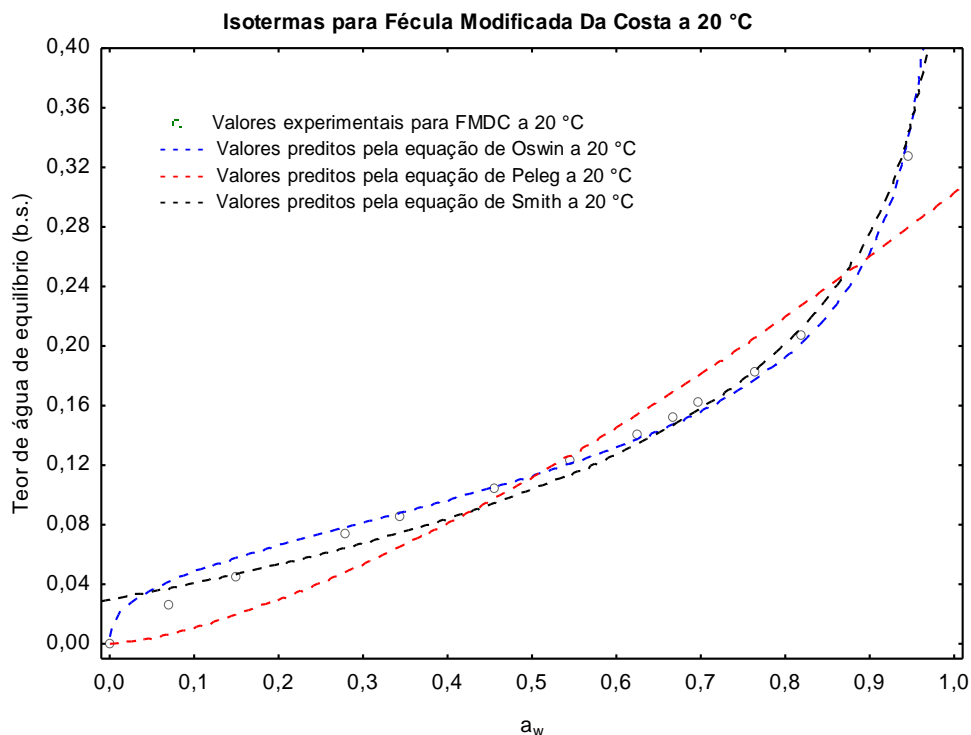


**Figura 4.32** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 30 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade São Tomé (FMST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith

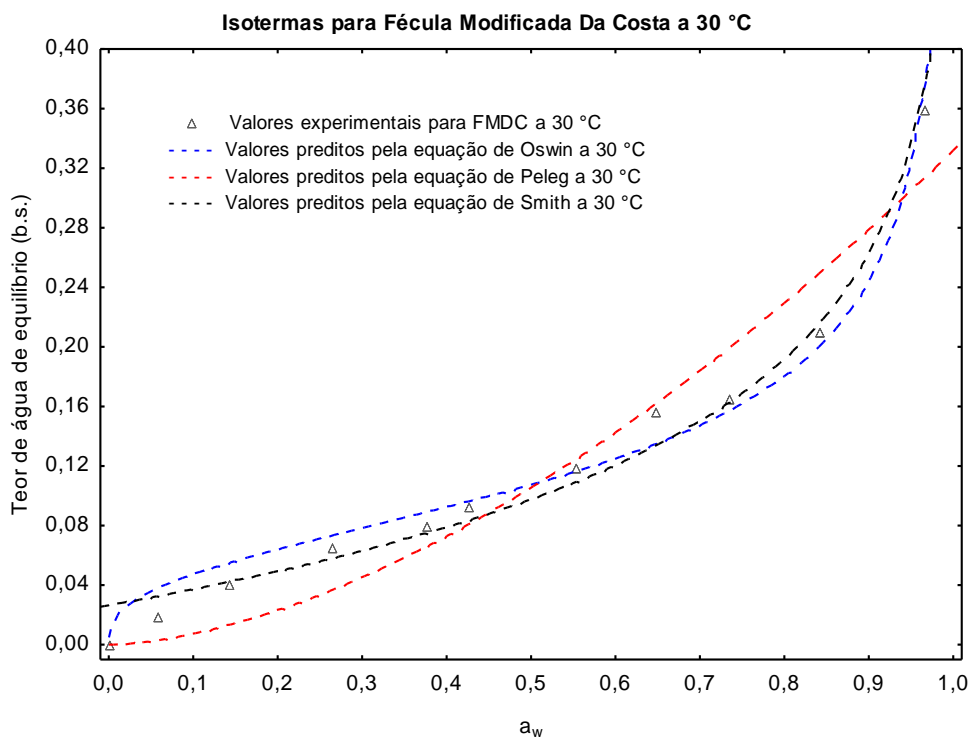


**Figura 4.33** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 40 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade São Tomé (FMST) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith

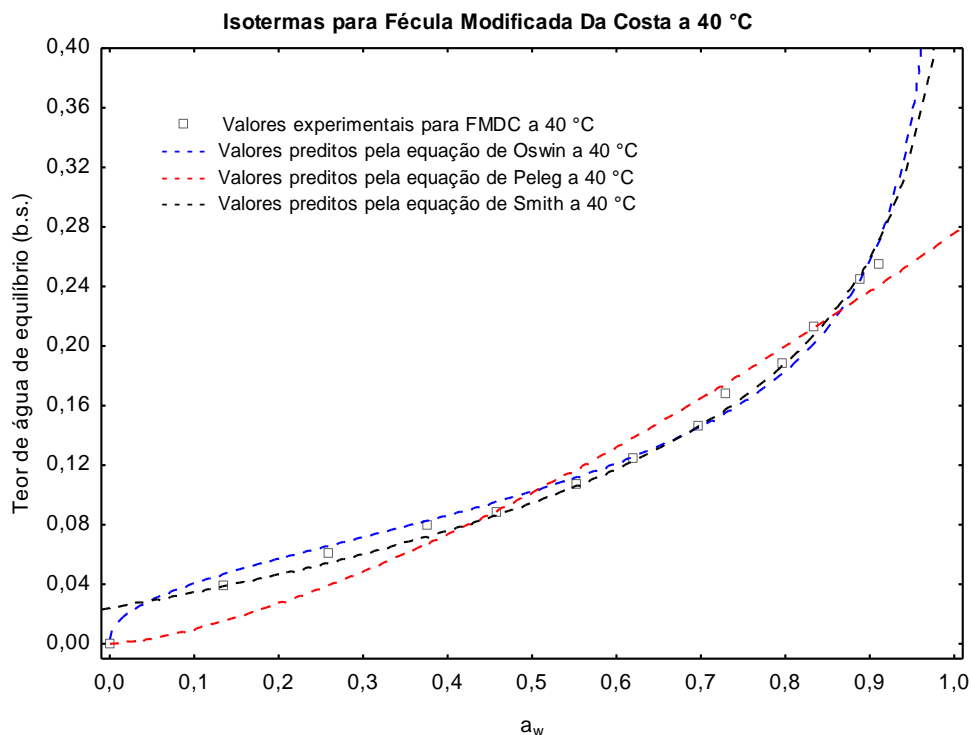




**Figura 4.34** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 20 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade Da Costa (FMDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith



**Figura 4.35** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 30 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade Da Costa (FMDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith



**Figura 4.36** - Dados experimentais da isoterma de sorção de água na temperatura de 40 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade Da Costa (FMDC) e curvas estimadas pelas equações de Oswin, Peleg e Smith

Por meio das isotermas indicadas nas Figuras 4.25 a 4.36, observa-se que os teores de água de equilíbrio ( $X_e$ ) aumentam quando se eleva a atividade de água a uma mesma temperatura.

Para uma mesma variedade de inhame verifica-se, por meio das isotermas de sorção de água, que as féculas (nativas e modificadas) apresentam maior perda de água na medida em que a temperatura é elevada. Isto pode ser observado de forma mais clara, analisando-se as Figuras B.1 a B.4 (Apêndice B). Comportamento semelhante foi verificado por PERDOMO et al. (2009) para isotermas de sorção de água para fécula de mandioca. Segundo Westgate et al., citados por SPADA (2011), com a elevação da temperatura há diminuição do grau de ligações de hidrogênio, o que reduz a disponibilidade dos sítios de sorção, visto que poderiam ocorrer as possíveis ligações com a água.

Observando os dados experimentais das isotermas de sorção de água no Apêndice B (Figuras B.5 a B.10), é possível observar a tendência que as féculas modificadas apresentam, ao longo da curva, para valores de teor de água de equilíbrio ligeiramente superiores aos das féculas nativas dos inhames.

Comportamento contrário foi identificado por COVA et al. (2010) quando aplicaram a modificação química (com anidrido octenil succínico) em fécula de mandioca, neste caso, a fécula obtida, apresentou menor perda de água em uma mesma temperatura.

As isotermas obtidas para as féculas nativas e modificadas de inhame (*Dioscorea alata* e *Dioscorea cayennensis*) apresentam forma sigmoideal e, portanto, são classificadas como isotermas do tipo 2, segundo a classificação de B.E.T.; alguns estudos realizados com amidos, fécula e farinhas, apontam fato semelhante a este.

Estudando fécula de batata, AL-MUHTASEB et al. (2004) verificaram que as isotermas obtidas a 30, 45 e 60 °C foram do tipo 2; a mesma característica foi reportada por MISHRA & RAI (2006) ao pesquisarem curvas de sorção de água para fécula de batata e amido de milho a 20 °C. OYELADE et al. (2008) determinaram as curvas que descreviam isotermas para farinha de milho a 27, 32, 37 e 40 °C, e de modo semelhante estas se mostraram isotermas de tipo 2. Estudando fécula de mandioca, PERDOMO et al. (2009) obtiveram isotermas de sorção de água para fécula de mandioca a 5, 30 e 45 °C e constataram que se comportaram como isotermas de tipo 2. Nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C foram reportadas, por THYS et al. (2010) isotermas de sorção de água com comportamento sigmoideal para amido de pinhão, o que também ocorreu para CLADERA-OLIVERA et al. (2011) que ainda estudaram isotermas para amido de pinhão a 10, 20, 30 e 40 °C, assim como SPADA et al. (2013), que observaram, nas temperaturas de trabalho de 10, 20 e 30 °C, esta mesma classificação para isotermas das microcápsulas com amido de pinhão submetido à hidrólise ácida.

Nota-se nas Figuras B.5 a B.10 (Apêndice B) que os valores máximos de teor de água de equilíbrio ( $X_e$ ) para as féculas nativas de inhame, em uma faixa de  $a_w > 0,9$ , variam entre 0,34 e 0,36 (g H<sub>2</sub>O. g matéria seca<sup>-1</sup>) aproximadamente tal variação foi maior para as féculas modificadas de inhame (0,24 a 0,36 g H<sub>2</sub>O. g matéria seca<sup>-1</sup>). O estudo realizado por SPADA et al. (2013) revelou resultados semelhantes para os teores de água de equilíbrio ( $X_e$ ) em amido hidrolizado de pinhão (com ácido clorídrico), que a 20 e 30 °C apresentou valores em torno de 0,36 e 0,34 (b.s.), respectivamente para a mesma faixa de atividade de água; aos 30 °C os valores predominantes de teor de água de equilíbrio ficaram próximos a 0,35 (b.s.) para as féculas de inhame quando  $a_w > 0,9$ . PENG

et al. (2007); no entanto, reportam dados de teor de água de equilíbrio para amido nativo de milho neste mesmo intervalo de  $a_w$ , os quais são semelhantes, cerca de 0,26 (b.s.), aos valores encontrados na corrente pesquisa para fécula modificada de inhame São Tomé; no caso das isotermas obtidas a 40 °C para amido nativo de pinhão na pesquisa desenvolvida por THYS et al. (2010), observou-se, para  $a_w > 0,9$ , que, o valor máximo do teor de água de equilíbrio encontrado, foi aproximadamente 0,28 (b.s.); para as féculas modificadas de inhame São Tomé e Da Costa os valores foram 0,24 e 0,26 (b.s.), respectivamente, na mesma temperatura de trabalho (40 °C).

As féculas nativas e modificadas de inhame (São Tomé e Da Costa) apresentam comportamentos análogos e condizentes com o que é descrito na literatura referente à higroscopicidade de amidos e féculas.

Os valores das constantes das equações de sorção para as féculas nativas e quimicamente modificadas, além dos coeficientes de determinação e dos desvios percentuais médios obtidos nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C são apresentados nas Tabelas 4.24 e 4.25, respectivamente.

**Tabela 4.24** - Constantes de ajuste obtidas das equações de Oswin, Peleg e Smith ajustadas aos dados das isotermas para as féculas nativas de inhame, valores do coeficiente de determinação e dos desvios percentuais médios a 20, 30 e 40 °C

Equação	Fécula	T (°C)	Constantes das equações						R <sup>2</sup> (%)	P (%)
			a	b	k <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>		
Oswin	FNST	20	0,1235	0,2829	-	-	-	-	96,14	14,6644
		30	0,1050	0,3332	-	-	-	-	96,88	16,3918
		40	0,1086	0,3482	-	-	-	-	97,60	11,3673
	FNDC	20	0,1124	0,3053	-	-	-	-	97,43	13,2866
		30	0,1135	0,2782	-	-	-	-	94,40	22,6691
		40	0,1023	0,3347	-	-	-	-	97,35	15,9121
Peleg	FNST	20	-	-	0,1613	1,6352	0,1613	1,6352	94,14	16,3772
		30	-	-	0,1522	1,7340	0,1522	1,7340	94,09	20,6293
		40	-	-	0,1486	1,8029	0,1486	1,8029	93,80	16,4299
	FNDC	20	-	-	0,1569	1,5161	0,1569	1,5161	94,77	17,6213
		30	-	-	0,1532	1,8643	0,1532	1,8643	93,68	20,5833
		40	-	-	0,1514	1,8707	0,1514	1,8707	92,58	21,7893
Smith	FNST	20	0,0463	-0,0867	-	-	-	-	95,54	7,8599
		30	0,0304	-0,0891	-	-	-	-	97,97	7,0792
		40	0,0281	-0,0942	-	-	-	-	98,60	3,8627
	FNDC	20	0,0411	-0,0852	-	-	-	-	95,93	8,5101
		30	0,0381	-0,0807	-	-	-	-	96,17	11,6075
		40	0,0280	-0,0882	-	-	-	-	98,41	6,8042

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa

**Tabela 4.25** - Constantes de ajuste obtidas das equações de Oswin, Peleg e Smith ajustadas aos dados das isotermas para as féculas quimicamente modificadas de inhame, coeficiente de determinação e desvios percentuais médios a 20, 30 e 40 °C

Equação	Fécula	T (°C)	Constantes das equações						R <sup>2</sup> (%)	P (%)
			a	b	k <sub>1</sub>	n <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	n <sub>2</sub>		
Oswin	FMST	20	0,1076	0,3889	-	-	-	-	99,13	8,7259
		30	0,1026	0,4281	-	-	-	-	99,32	10,4209
		40	0,0872	0,4565	-	-	-	-	99,28	12,4109
	FMDC	20	0,1129	0,3849	-	-	-	-	99,31	9,3504
		30	0,1075	0,3733	-	-	-	-	98,65	18,6195
		40	0,1025	0,4196	-	-	-	-	98,99	5,5947
Peleg	FMST	20	-	-	0,1466	1,3742	0,1466	1,3742	93,37	19,739
		30	-	-	0,1325	1,2514	0,1325	1,2514	97,75	14,8285
		40	-	-	0,1258	1,4592	0,1258	1,4592	96,89	16,1505
	FMDC	20	-	-	0,1515	1,4381	0,1515	1,4381	93,03	22,4771
		30	-	-	0,1660	1,6547	0,1660	1,6547	93,19	28,7221
		40	-	-	0,1379	1,4399	0,1379	1,4399	96,92	13,8892
Smith	FMST	20	0,0298	-0,1023	-	-	-	-	98,38	6,9478
		30	0,0225	-0,1046	-	-	-	-	98,51	9,7903
		40	0,0164	-0,0959	-	-	-	-	98,98	11,0986
	FMDC	20	0,0297	-0,1068	-	-	-	-	98,18	8,7530
		30	0,0265	-0,1028	-	-	-	-	98,27	13,1139
		40	0,0239	-0,1022	-	-	-	-	98,58	3,8038

FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

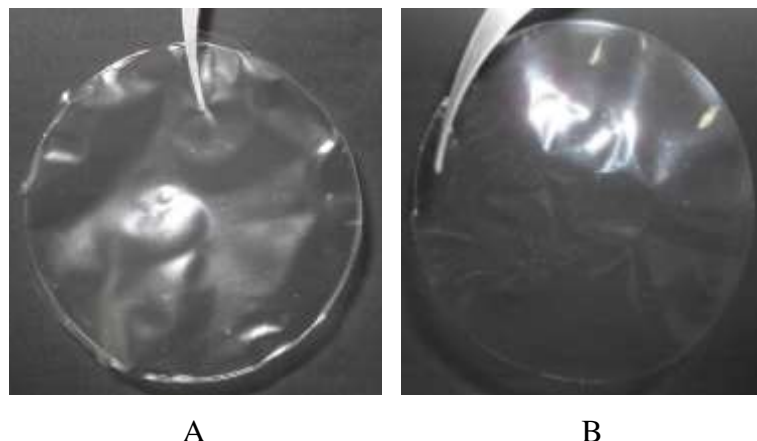
Examinando os resultados das Tabelas 4.24 e 4.25, observa-se que a equação de Smith é a que melhor representa os dados experimentais de sorção de água nas féculas nativas e modificadas de inhame variedades São Tomé ou Da Costa. Verifica-se que, neste caso, os desvios percentuais médios variam de 3,86 a 11,61 % e o coeficiente de determinação médio é igual a 97,10 % para as féculas nativas de inhame enquanto para as féculas modificadas, 3,80 a 13,11 % é a faixa de variação dos desvios percentuais médios e 98,48 % é o coeficiente de determinação médio.

Alguns trabalhos realizados com amidos e fécula apresentaram diferentes conclusões quanto ao ajuste matemático para suas respectivas isotermas de sorção de água. AL-MUHTASEB et al (2004) citam Peleg e Smith como sendo equações que representam bem as isotermas de fécula nativa de batata a 30, 45 e 60 °C; a equação de Peleg também é relatada por PENG et al. (2007) como uma equação que representa bem isotermas de sorção de água para amido nativo de milho. Isotermas de sorção de água para a farinha de milho a temperaturas de 27, 32, 37 e 40 °C foram obtidas por OYELADE et al. (2008) os quais constataram que, dentre as equações matemáticas avaliadas, a que melhor se ajustou aos dados experimentais foi a equação de GAB modificado. Entre as equações mais aceitáveis para descrever os dados experimentais de isotermas de sorção de água para amidos e féculas estão as equações de Peleg para amido de pinhão (THYS et al., 2010) e GAB no caso de fécula de mandioca (COVA et al., 2010),

#### **4.4- Caracterização dos biofilmes**

##### **4.4.1- Microestrutura**

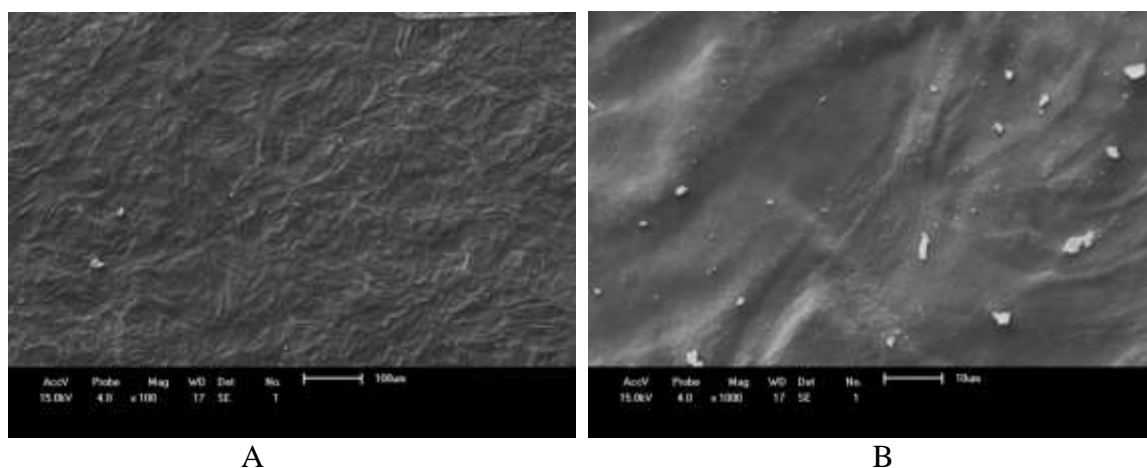
Na Figura 4.37 é apresentado o aspecto geral dos biofilmes de féculas nativa e quimicamente modificada de inhame.



**Figura 4.37** - Aspecto geral dos biofilmes: A) biofilme obtido de féculas nativas de inhame e B) biofilme obtido de féculas quimicamente modificadas de inhame

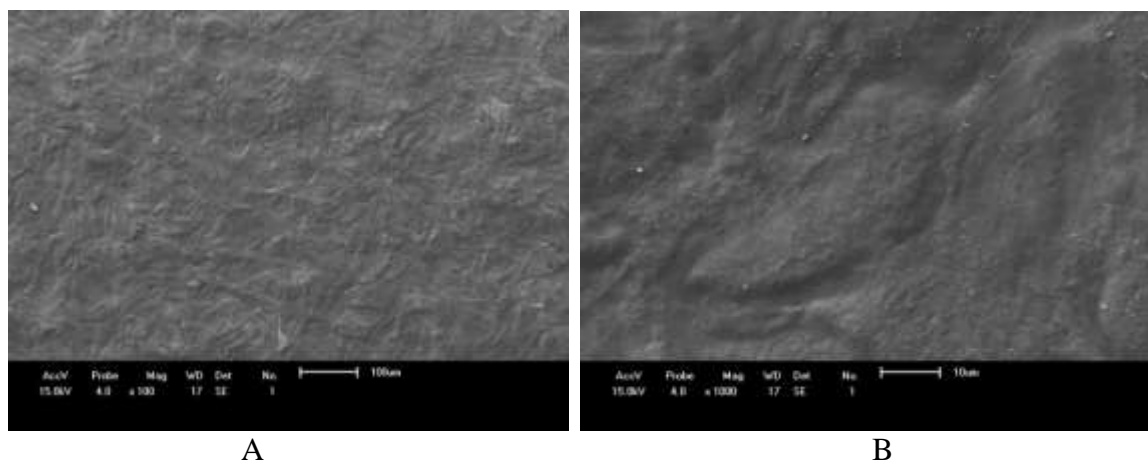
Considerando as diferentes espécies de tubérculos e mesmo com a variação na quantidade de plastificante (glicerol) na formulação das soluções filmogênicas, a não ser quanto à opacidade, sem o auxílio de lentes especiais, não foram perceptíveis diferenças entre as superfícies dos biofilmes de féculas nativas de inhame São Tomé e Da Costa, nem entre os biofilmes com féculas modificadas.

Nas Figuras 4.38 a 4.45 são apresentadas as fotomicrografias da superfície superior dos biofilmes obtidos a partir dos quatro tipos de féculas de inhame e diferentes concentrações de plastificante.



**Figura 4.38** - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula nativa São Tomé (FNST) e com adição de 20 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x

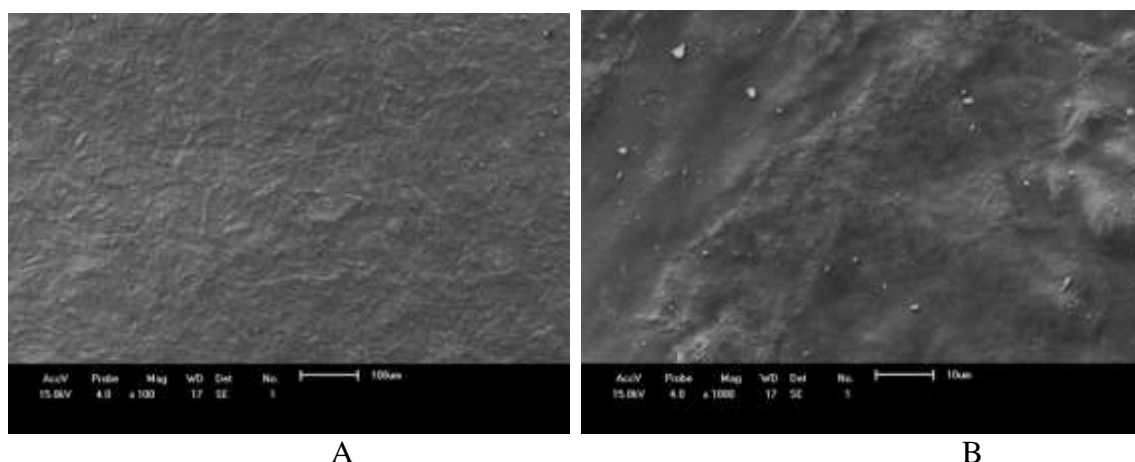




A

B

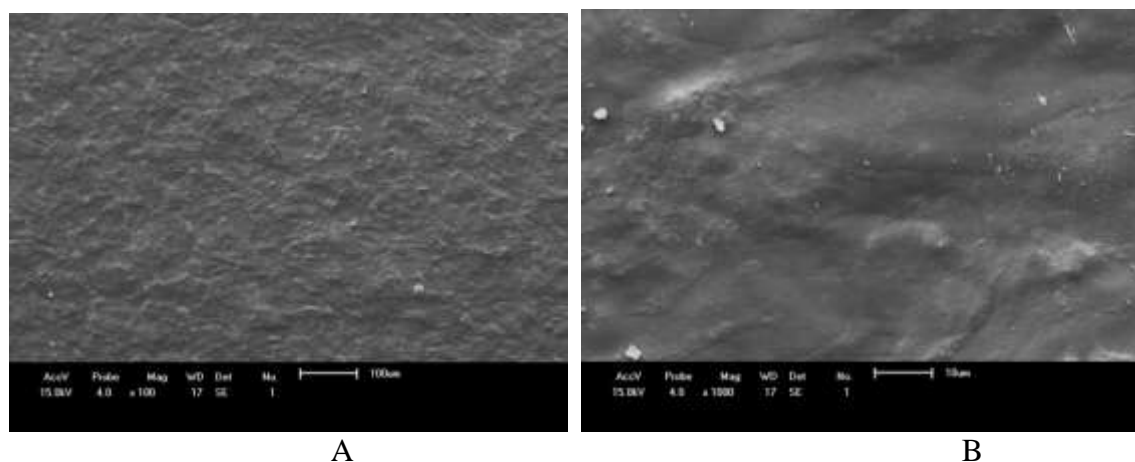
**Figura 4.39** - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula nativa São Tomé (FNST) e com adição de 30 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x



A

B

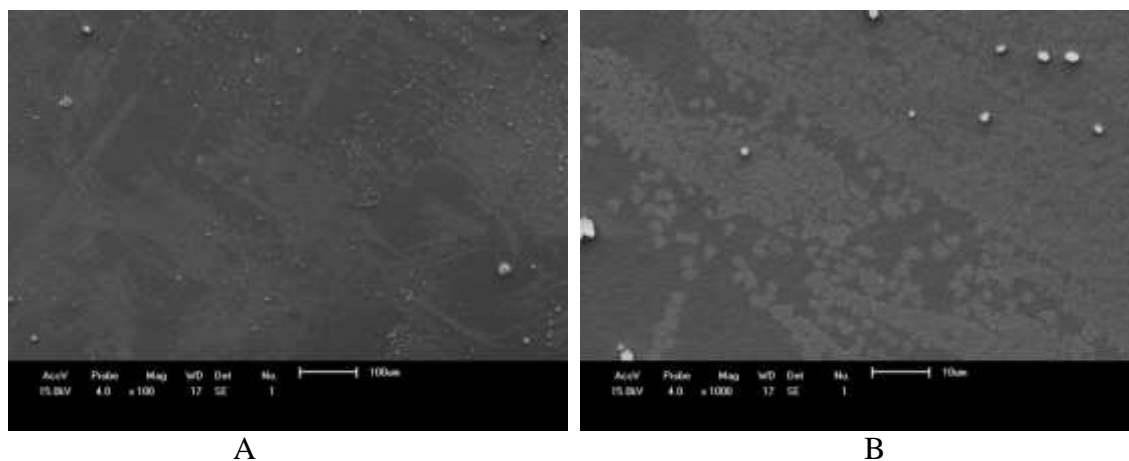
**Figura 4.40** - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula nativa Da Costa (FNDC) e com adição de 20 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x



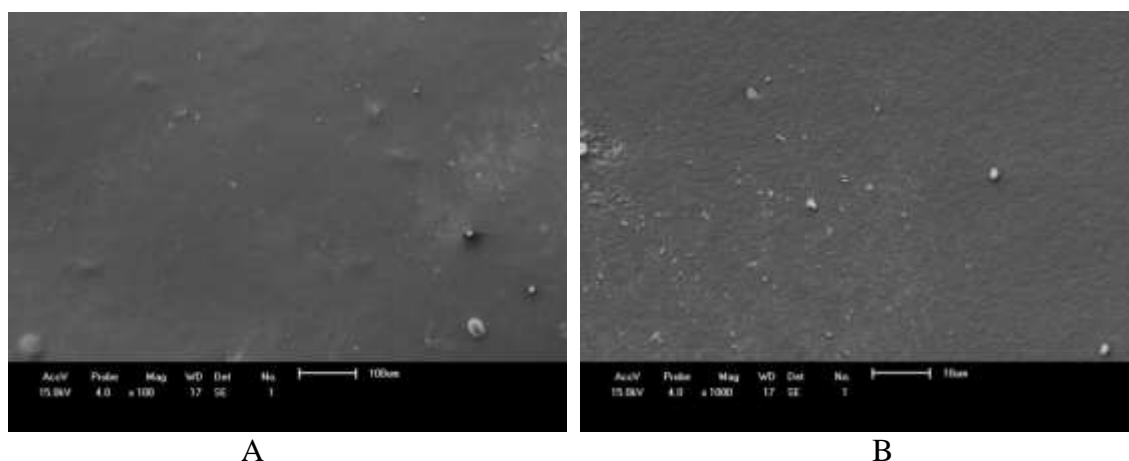
A

B

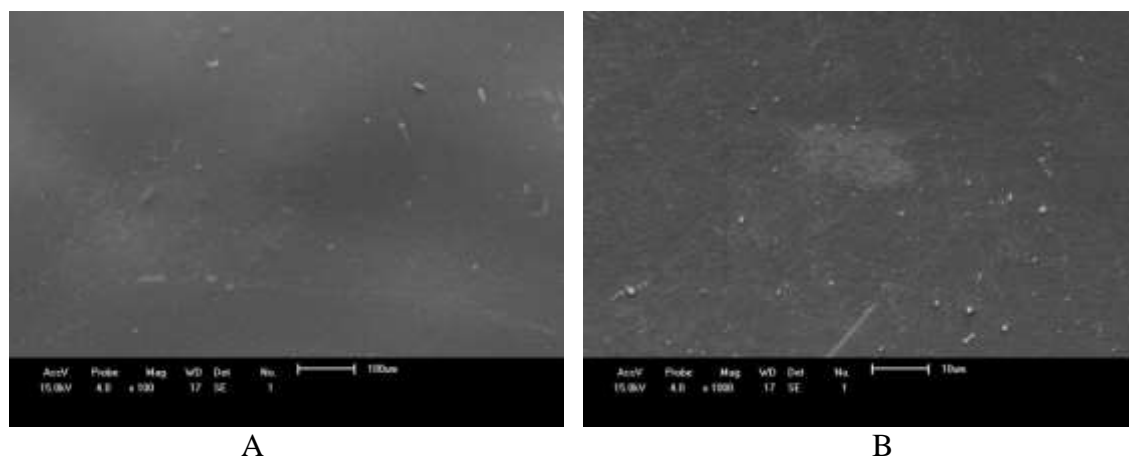
**Figura 4.41** - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula nativa Da Costa (FNDC) e com adição de 30 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x



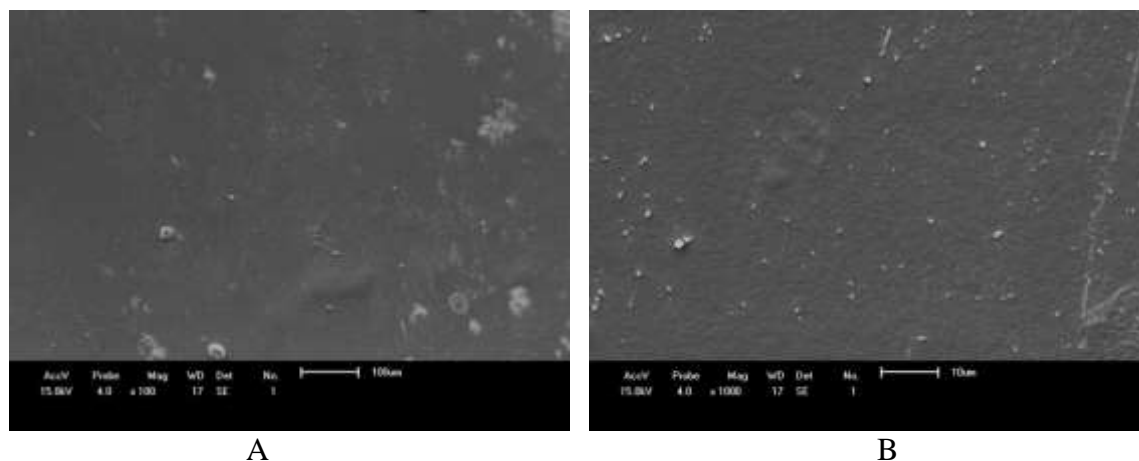
**Figura 4.42** - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula modificada São Tomé (FMST) e com adição de 20 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x



**Figura 4.43** - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula modificada São Tomé (FMST) e com adição de 30 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x



**Figura 4.44** - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula modificada Da Costa (FMDC) e com adição de 20 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x



**Figura 4.45** - Fotomicrografias das superfícies dos biofilmes obtidos a partir da fécula modificada Da Costa (FMDC) e com adição de 30 % de glicerol: A) aumento de 100x; B) aumento de 1000x

Verifica-se que biofilmes de féculas nativas apresentaram superfícies com relevo irregular assemelhando-se às superfícies de biofilmes elaborados com fécula de batata adicionada de celulose bacteriana e glicerol (ALMEIDA, 2010). Já os biofilmes de féculas modificadas de inhame apresentaram superfícies semelhantes às dos biofilmes obtidos por HENRIQUE et al. (2008) que usaram amido de mandioca modificado (carboximetilamido) de baixa viscosidade e aos biofilmes à base de amido de pinhão, acrescidos de glicerol e goma xantana como plastificante, foram estudados por SILVA (2011).

As fotomicrografias dos filmes revelam, no geral, superfícies amorfas, sem fraturas ou bolhas de ar, com pontos brancos que podem ser grânulos inteiros ou aglomerados de fragmentos de grânulos de amido que não foram totalmente solubilizados e gelatinizados. Este fato também foi constatado por SILVA (2011) nos biofilmes de amido de pinhão. LIU & HAN (2005) descrevem que enquanto a solução filmogênica está sendo desidratada para formar os filmes devido à força motriz da evaporação da água, grânulos de amido expandidos e seus resíduos são aglomerados ao acaso e compactados para compor os filmes. Segundo VAN SOEST & VLIEGNTHART (1997), a existência de grânulos inteiros ou parcialmente gelatinizados pode levar à redução da força, da flexibilidade e da alongação dos filmes. Para MALI et al. (2002) filme com matriz homogênea é um bom indicador da integridade de sua estrutura e de suas propriedades mecânicas .

#### 4.4.2- Gramatura e espessura

Os resultados médios da gramatura e da espessura dos biofilmes de féculas nativas e modificadas de inhames São Tomé e Da Costa, são apresentados na Tabela 4.26.

**Tabela 4.26** - Valores médios e desvios padrão para as propriedades gramatura e espessura dos biofilmes desenvolvidos à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Biofilme	Gramatura ( $\text{g.m}^{-2}$ )	Espessura (mm)
FNST (20 % de glicerol)	$57,59 \pm 9,677$	$0,041 \pm 0,015$
FNST (30 % de glicerol)	$54,40 \pm 3,583$	$0,062 \pm 0,081$
FNDC (20 % de glicerol)	$56,06 \pm 3,204$	$0,041 \pm 0,018$
FNDC (30 % de glicerol)	$43,90 \pm 2,787$	$0,046 \pm 0,018$
FMST (20 % de glicerol)	$44,48 \pm 1,886$	$0,026 \pm 0,012$
FMST (30 % de glicerol)	$38,51 \pm 6,959$	$0,028 \pm 0,009$
FMDC (20 % de glicerol)	$37,58 \pm 5,408$	$0,025 \pm 0,011$
FMDC (30 % de glicerol)	$32,28 \pm 6,796$	$0,026 \pm 0,010$

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Na Tabela A.15 (Apêndice A) consta a análise de variância para a propriedade de gramatura dos biofilmes de fécula de inhame a qual foi influenciada pelos fatores variedade de inhame e tipo de fécula, respectivamente, aos níveis de 5 % e 1 % de probabilidade, como exposto na Tabela 4.27.

**Tabela 4.27** - Comparação entre médias da gramatura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame e tipo de fécula

Variedade de inhame	
São Tomé	49,03 a
Da Costa	42,46 b
Tipo de fécula	
Nativa	53,28 a
Modificada	38,21 b

Para gramatura - DMS = 5,16955; MG = 45,74492; CV = 13,05 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Observa-se, em relação à variedade de inhame que, a gramatura é maior quando se elaboram biofilmes com féculas do inhame São Tomé (*Dioscorea alata*); já quando se analisa o tipo de fécula usada na solução filmogênica, os biofilmes com maior gramatura são aqueles feitos à base de féculas nativas.

Apresenta-se na Tabela 4.28, a comparação de médias da gramatura dos biofilmes quando considerada a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula ao nível de 1 % de probabilidade.

**Tabela 4.28** - Comparação entre médias da gramatura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula

Variedade de inhame	Tipo de fécula	
	Nativa	Modificada
São Tomé	56,58 aA	41,49 aB
Da Costa	49,98 aA	34,93 aB

DMS para colunas = 7,318; DMS para linhas = 7,3108; MG = 45,74492; CV = 13,05 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Analisando a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula (Tabela 4.28) percebe-se que, quando considerado o fator variedade de inhame, os biofilmes oriundos de féculas de inhame São Tomé ou Da Costa apresentam menor gramatura quando são elaborados com féculas modificadas; quanto ao fator tipo de fécula, os valores da gramatura para biofilmes à base de féculas nativas e modificadas são estatisticamente iguais entre si, independente da variedade do inhame.

A variedade de inhame e a concentração de glicerol não influenciaram a espessura dos biofilmes (Tabela A.16 do Apêndice A), que se mostrou diferente ao nível de 1 % de probabilidade apenas em relação ao fator tipo de fécula, conforme apresentado na Tabela 4.29.

**Tabela 4.29** - Comparação entre médias da espessura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator tipo de fécula

Tipo de fécula	
Nativa	0,047 a
Modificada	0,026 b

Para espessura - DMS = 0,00936; MG = 0,03690; CV = 35,31 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Apesar da análise de variância não indicar influência da concentração de glicerol sobre a espessura dos biofilmes (Tabela A.16 no Apêndice A) e analisando os valores na Tabela 4.26 nota-se que este parâmetro foi maior quanto mais elevada a quantidade de glicerol na solução filmogênica. MATTA JR et al. (2011) constataram que a concentração de amido e de glicerol ocasiona aumento da espessura dos biofilmes elaborados a partir de amido de ervilha. A espessura dos filmes variou de 0,055 mm para o tratamento contendo apenas amido (3 %) até 0,098 mm para o tratamento com 5 % de amido e 20 % de glicerol. Para ZHANG & HAN (2006), durante a secagem das soluções filmogênicas a água evapora permitindo uma concentração maior de amido por área formadora de rede. O glicerol, além de contribuir com o aumento do teor de sólidos do filme (amido + plastificante), altera a estrutura formada tendo em vista que interrompe a formação de dupla hélice da amilose com fragmentos da amilopectina reduzindo a interação entre essas duas moléculas, o que ocasiona diminuição da contração do gel no processo de secagem proporcionando o aumento da espessura dos filmes.

Considerando, segundo HENRIQUE et al. (2008) que, o filme de policloreto de vinila (PVC) comercial apresenta gramatura e espessura iguais a 40,95 g.m<sup>-2</sup> e 0,02 mm, os valores relativos a tais propriedades para os biofilmes elaborados à base de féculas de inhame, contidos nas Tabelas 4.26 e 4.29, revelam que os biofilmes elaborados com as féculas modificadas apresentam maiores similaridades com os filmes comerciais de PVC.

MALI et al. (2005a) desenvolveram biofilmes com soluções filmogênicas que continham fécula de mandioca além de glicerol e sorbitol como plastificantes e obtiveram resultados iguais a 0,08 mm para espessura e 90,0 g.m<sup>-2</sup> para gramatura. MALI et al. (2005b) usaram glicerol e amido de inhame (*Dioscorea alata*) com 30 % de amilose para obter biofilmes com gramaturas de 83,0 g.m<sup>-2</sup>, 110,0 g.m<sup>-2</sup> e 122,5 g.m<sup>-2</sup> e espessuras de

0,07 mm, 0,09 mm e 0,11 mm. ALMEIDA (2010) verificou biofilmes com diferentes proporções de féculas de batata, celulose bacteriana e glicerol tiveram seus valores de gramatura variando de 78,0 a 95,0 g.m<sup>-2</sup> e espessura oscilando entre 0,02 e 0,78 mm.

Biofilme de fécula modificada de mandioca (carboximetilamido) apresenta espessura de 0,09 mm e elevada gramatura (423,86 g.m<sup>-2</sup>) (HENRIQUE et al., 2008). Biofilmes de amido de pinhão com gramatura de 245 g.m<sup>-2</sup> e 0,11 mm de espessura foram desenvolvidos por SILVA (2011); ambos os resultados são bastante elevados em comparação com os biofilmes das féculas de inhame.

#### 4.4.3 - Opacidade

São apresentados, na Tabela 4.30, os valores médios para opacidade dos biofilmes de inhames São Tomé e Da Costa.

**Tabela 4.30** - Valores médios e desvios padrão para a propriedade opacidade dos biofilmes desenvolvidos à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Biofilme	Opacidade (A <sub>600</sub> .mm <sup>-1</sup> )
FNST (20 % de glicerol)	2,77 ± 0,524
FNST (30 % de glicerol)	3,44 ± 0,710
FNDC (20 % de glicerol)	2,18 ± 0,552
FNDC (30 % de glicerol)	3,36 ± 0,362
FMST (20 % de glicerol)	1,42 ± 0,527
FMST (30 % de glicerol)	1,52 ± 0,145
FMDC (20 % de glicerol)	0,71 ± 0,139
FMDC (30 % de glicerol)	0,90 ± 0,019

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Segundo SILVA et al. (2007), no processo de gelatinização os grânulos de amido perdem a estrutura e a cristalinidade, acarretando mudança na coloração da pasta e, conseqüentemente, produz maior opacidade ao biofilme. Wurzburg, citado por LIPORACI et al (2005) afirma que a linearidade das moléculas de amilose faz com que, estando em solução, apresentem tendência a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente

para que se formem pontes de hidrogênio entre hidroxilas de cadeias de amilose adjacentes; como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida favorecendo a formação de pastas opacas.

A análise de variância para a opacidade dos biofilmes de fécula de inhame (Tabela A.17 do Apêndice A) demonstrou efeito significativo ao nível de 1 % de probabilidade para os fatores tipo de fécula e concentração de glicerol. Também foram significativos ao nível de 5 % de probabilidade, os efeitos da variedade de inhame e da interação entre tipo de fécula e concentração de glicerol sobre a opacidade dos biofilmes. As comparações de médias da propriedade opacidade estão nas Tabelas 4.31 e 4.32.

**Tabela 4.31** - Comparação entre médias da opacidade dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol

<b>Variedade de inhame</b>	
<b>São Tomé</b>	2,29 a
<b>Da Costa</b>	1,79 b
<b>Tipo de fécula</b>	
<b>Nativa</b>	2,94 a
<b>Modificada</b>	1,14 b
<b>Concentração de glicerol (%)</b>	
<b>20</b>	1,77 b
<b>30</b>	2,30 a

Para opacidade - DMS = 0,37907; MG = 2,03767; CV = 21,48 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Analizando a comparação entre os valores médios da opacidade entre os fatores variedade de inhame (Tabela 4.31) percebe-se que a opacidade dos biofilmes é maior quando confeccionados com féculas provenientes de inhame da variedade São Tomé; quanto ao tipo de fécula, os biofilmes elaborados com féculas nativas são mais opacos e ainda analisando a mesma tabela constata-se que uma concentração maior de glicerol acarretou aumento da opacidade dos biofilmes. LÓPEZ et al. (2008) confirmaram, em seu estudo, que a opacidade de biofilmes feitos com amidos de milho (acetilado) tende a aumentar quando a concentração de plastificante (glicerol) é superior a 2,5 % (p/p).



**Tabela 4.32** - Comparação entre médias da opacidade dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores tipo de fécula e concentração de glicerol

Tipo de fécula	Concentração de glicerol (%)	
	20	30
<b>Nativa</b>	2,47 aB	3,40 aA
<b>Modificada</b>	1,07 bA	1,21 bA

DMS para colunas = 0,5361; DMS para linhas = 0,5361; MG = 2,03767; CV = 21,48 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação.

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Analisando a Tabela 4.32 percebe-se que o aumento da concentração de glicerol em féculas nativas acarreta aumento na opacidade dos biofilmes enquanto entre féculas modificadas o aumento da concentração de glicerol de 20 para 30 % não causou influência na sua opacidade. Analisando nas colunas, ou seja, para uma mesma concentração de glicerol (20 %), os biofilmes confeccionados com féculas nativas apresentaram maior opacidade, constatando-se o mesmo para biofilmes elaborados com 30 % de glicerol confirmando fatos comentados anteriormente de que féculas modificadas conferem maior transparência aos biofilmes.

CORRÊA et al. (2009) relatam  $2,55 A_{600} \cdot \text{mm}^{-1}$  para a opacidade de plástico filme comercial, valor este próximo aos resultados obtidos para biofilmes de féculas nativas dos inhames São Tomé e Da Costa (Tabela 4.30). Os biofilmes de féculas de inhame são mais transparentes que os obtidos por ALMEIDA (2010) em sua pesquisa com fécula de batata, celulose bacteriana e glicerol. Entre os biofilmes que continham apenas fécula de batata e glicerol como plastificante os valores de opacidade foram de  $6,25 A_{600} \cdot \text{mm}^{-1}$  (biofilme com 82,5 % de fécula + 17,5 % de glicerol) e  $8,28 A_{600} \cdot \text{mm}^{-1}$  (biofilme com 87,5 % de fécula + 12,5 % de glicerol). Os valores de opacidade encontrados por TAVARES (2010) ao elaborar biofilmes a partir de zeína, adicionados de argilas modificadas com ácido oléico e glicerol como agentes plastificantes e variaram entre 5,81 e  $6,08 \text{ Abs}_{600} \cdot \text{mm}^{-1}$ .

#### 4.4.4 - Solubilidade em água

Na Tabela 4.33 se encontram os valores médios das solubilidades em água para os biofilmes preparados a partir das féculas nativas e modificadas dos inhames São Tomé e Da Costa.

**Tabela 4.33** - Valores médios e desvios padrão para a propriedade solubilidade em água dos biofilmes desenvolvidos à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Biofilme	Solubilidade em água (%)
FNST (20 % de glicerol)	65,39 ± 10,426
FNST (30 % de glicerol)	71,05 ± 2,577
FNDC (20 % de glicerol)	73,39 ± 6,871
FNDC (30 % de glicerol)	75,14 ± 4,571
FMST (20 % de glicerol)	74,16 ± 1,778
FMST (30 % de glicerol)	82,40 ± 6,314
FMDC (20 % de glicerol)	76,03 ± 7,681
FMDC (30 % de glicerol)	83,56 ± 9,436

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Após o período de 24 horas de agitação e imersão em água, verificou-se que os biofilmes não se dispersaram e, aparentemente, não perderam sua integridade; no entanto, os valores contidos na Tabela 4.33 evidenciam a grande susceptibilidade à solubilização dos biofilmes de fécula de inhame frente à água. Esses dados são mais próximos aos resultados encontrados para biofilmes formulados com gelatina bovina, ácido esteárico, Tween 20 e 80, benzoato de sódio e glicerol na pesquisa realizada por D'ÁVILA (2010), que revelou solubilidade em água entre 24,80 a 78,49 %.

Biofilmes de féculas de inhame com quantidades maiores de glicerol em sua composição, foram caracterizados como mais solúveis em água. Biofilmes a partir de amidos de milho (acetilado) foram desenvolvidos por LÓPEZ et al. (2008). Os autores relataram a elevação da solubilidade em água desses biofilmes na medida em que se aumentou a concentração de glicerol na formulação. O biofilme composto por apenas 5 % de amido acetilado teve solubilidade em água igual a 2,31 % enquanto o biofilme com 5 %

de amido acetilado adicionado de 5 % de glicerol, apresentou 27,26 % de solubilidade em água.

MEHYAR & HAN (2004) consideram moderadas as solubilidades em água apresentadas pelos biofilmes de amido de arroz (44,4 %) e de ervilha (32,0 %) com o plastificante glicerol. Segundo os autores, o glicerol é um componente solúvel que pode ser incorporado à água ocasionando solubilidade da estrutura do biofilme.

A solubilidade em água dos biofilmes de féculas de inhame foi significativamente influenciada ao nível de 5 % de probabilidade pelo tipo de fécula (Tabela 4.34).

**Tabela 4.34** - Comparação entre médias da solubilidade em água dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator tipo de fécula

Tipo de fécula	
Nativa	71,24 b
Modificada	79,04 a

Para solubilidade em água - DMS = 5,92528; MG = 75,13896; CV = 9,11%

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Desta forma e de acordo com o sugerido por MEHYAR & HAN (2004), conclui-se que os biofilmes originados das féculas nativas de inhame, os quais apresentam menores solubilidades em água que os biofilmes de féculas modificadas, exibem forças de interação entre um número maior de moléculas de amido e glicerol reduzindo a quantidade de glicerol solubilizada em água.

#### 4.4.5- Tensão e porcentagem de elongação na ruptura

Os dados médios referentes às propriedades de tensão na ruptura e porcentagem de elongação de cada biofilme elaborado a partir das féculas de inhame com diferentes concentrações de plastificante, são apresentados na Tabela 4.35.

**Tabela 4.35** - Valores médios e desvios padrão para as propriedades tensão na ruptura e porcentagem de alongação dos biofilmes desenvolvidos à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Biofilme	Tensão na ruptura (MPa)	Porcentagem de alongação (%)
FNST (20 % de glicerol)	24,03 ± 0,835	3,29 ± 0,524
FNST (30 % de glicerol)	12,90 ± 0,000	5,01 ± 1,584
FNDC (20 % de glicerol)	12,11 ± 0,541	2,38 ± 0,686
FNDC (30 % de glicerol)	12,04 ± 0,375	4,43 ± 2,086
FMST (20 % de glicerol)	24,46 ± 0,526	2,72 ± 0,594
FMST (30 % de glicerol)	18,91 ± 2,627	4,32 ± 0,198
FMDC (20 % de glicerol)	13,81 ± 0,046	2,26 ± 0,198
FMDC (30 % de glicerol)	12,54 ± 1,562	4,09 ± 0,686

FNST - Fécula Nativa São Tomé; FNDC - Fécula Nativa Da Costa; FMST - Fécula Modificada São Tomé; FMDC - Fécula modificada Da Costa

Pela análise de variância (Tabela A.19 do Apêndice A) verificou-se que a resistência dos biofilmes à tração é afetada significativamente pelos três fatores analisados (variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol), inclusive por suas interações; as comparações entre as médias referentes a esta análise se encontram nas Tabelas 4.36 a 4.40.

**Tabela 4.36** - Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol

Variedade de inhame	
São Tomé	20,08 a
Da Costa	12,62 b
Tipo de fécula	
Nativa	15,27 b
Modificada	17,43 a
Concentração de glicerol (%)	
20	18,60 a
30	14,10 b

Para tensão na ruptura - DMS = 1,00381; MG = 16,35058; CV = 7,09 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Os biofilmes são mais resistentes à tração quando a fécula é proveniente do inhame variedade São Tomé (Tabela 4.36). Considerando o tipo de fécula verifica-se que o uso das féculas modificadas ocasiona maior resistência aos biofilmes e, ainda, que a maior concentração de glicerol em sua formulação os torna menos resistentes ao esforço durante o rompimento, fatos confirmados pelas análises apresentadas nas Tabelas 4.37 a 4.40.

**Tabela 4.37** - Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula

Variedade de inhame	Tipo de fécula	
	Nativa	Modificada
<b>São Tomé</b>	18,47 aB	21,67 aA
<b>Da Costa</b>	12,08 bA	13,17 bA

DMS para colunas = 1,4196; DMS para linhas = 1,4196; MG = 16,35058; CV = 7,09 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Na Tabela 4.37, tem-se, ao avaliar a interação entre os fatores variedade de inhame e tipo de fécula, que féculas modificadas obtidas do inhame São Tomé condicionam os biofilmes a serem mais resistentes à tração e que biofilmes com fécula de inhame Da Costa apresentam a mesma resistência quando se utiliza fécula nativa ou modificada, na sua preparação.

**Tabela 4.38** - Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame e concentração de glicerol

Variedade de inhame	Concentração de glicerol (%)	
	20	30
<b>São Tomé</b>	24,25 aA	15,91 aB
<b>Da Costa</b>	12,96 bA	12,89 bA

DMS para colunas = 1,4196; DMS para linhas = 1,4196; MG = 16,35058; CV = 7,09 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Observa-se na Tabela 4.38, que os biofilmes obtidos a partir de féculas de inhame São Tomé se apresentam mais resistentes em comparação com os confeccionados com

féculas de inhame Da Costa que, por sua vez, suportam menor esforço no rompimento seja ele adicionado de 20 ou 30 % de plastificante (glicerol). Com 20 % de glicerol os biofilmes de fécula de inhame Da Costa são iguais, quanto ao valor de tensão na ruptura, àqueles obtidos com 30 % do plastificante para a mesma variedade de inhame.

**Tabela 4.39** - Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores tipo de fécula e concentração de glicerol

Tipo de fécula	Concentração de glicerol (%)	
	20	30
<b>Nativa</b>	18,07 aA	12,47 bB
<b>Modificada</b>	19,14 aA	15,72 aB

DMS para colunas = 1,4196; DMS para linhas = 1,4196; MG = 16,35058; CV = 7,09 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Analisando a Tabela 4.39 percebe-se que filmes elaborados com 20 % de glicerol são mais resistentes à tração e não apresentam diferença estatística em relação ao tipo de fécula, se nativa ou modificada, enquanto entre os filmes elaborados com 30 % do plastificante observa-se maior resistência nos biofilmes confeccionados com féculas modificadas.

**Tabela 4.40** - Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol

Variedade de inhame	Tipo de fécula x Concentração de glicerol (%)			
	Nativa x 20	Nativa x 30	Modificada x 20	Modificada x 30
<b>São Tomé</b>	24,03 aA	12,90 aC	24,46 aA	18,91 aB
<b>Da Costa</b>	12,11 bA	12,04 aA	13,81 bA	12,54 bA

DMS para colunas = 2,0076; DMS para linhas = 2,7103; MG = 16,35058; CV = 7,09 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Percebe-se em análise à Tabela 4.40 (nas linhas) que biofilmes elaborados com fécula de inhame São Tomé possuem maior resistência quando contêm 20% de glicerol em sua formulação, sendo estatisticamente iguais tanto para biofilmes elaborados com fécula

nativa quanto modificadas. Ainda analisando os biofilmes elaborados com féculas de inhame São Tomé conclui-se que a menor resistência foi observada para biofilmes de fécula nativa com 30% de glicerol. Com relação aos biofilmes elaborados com fécula de inhame da variedade Da Costa, não existe diferença significativa entre os valores da tensão de ruptura, ou seja, os valores da resistência à ruptura permanecem inalterados ao se variar o tipo de fécula e/ou se mudando a concentração de glicerol de 20 para 30%.

Analisando a Tabela 4.40 (nas colunas), com relação às interações entre os fatores tipo de fécula x concentração de glicerol percebe-se que apenas para biofilmes elaborados com fécula nativa com 30 % de glicerol, os valores de tensão na ruptura foram estatisticamente iguais para a variedade São Tomé quanto Da costa; nas demais interações se obtiveram maiores tensões na ruptura em biofilmes elaborados com fécula de inhame São Tomé.

Verificou-se, na análise dos valores de porcentagem de alongação na Tabela 4.35, que os biofilmes provenientes de féculas nativas foram mais deformáveis do que os biofilmes de féculas modificadas e ainda que as féculas da variedade de inhame Da Costa forneceram biofilmes com menores porcentagens de alongação; contudo se encontra, no Apêndice A (Tabela A.22) a análise de variância relativa aos dados de porcentagem de alongação dos biofilmes a qual foi significativamente influenciada ao nível de 1 %, apenas pelo fator concentração de glicerol na amostra. Na Tabela 4.41 está apresentada a comparação das médias referentes a esta análise.

**Tabela 4.41** - Comparação entre médias da porcentagem de alongação dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para o fator concentração de glicerol

Concentração de glicerol (%)	
20	2,66 b
30	4,46 a

Para porcentagem de alongação - DMS = 0,89282; MG = 3,56275; CV = 28,94 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade

Conforme a Tabela 4.41, biofilmes confeccionados com féculas (nativas ou modificadas) de inhame da variedade São Tomé ou Da Costa, apresentam maior alongação quando se adicionam, às suas formulações, 30 % de glicerol.

Analisando os dados referentes ao teor de amilose e a tensão na ruptura nas Tabelas 4.8 e 4.35, respectivamente, nota-se que as féculas modificadas originaram biofilmes com maior resistência à tração. O mesmo foi relatado por FAKHOURY et al. (2012), que obtiveram biofilmes com diferentes quantidades de féculas nativas e modificadas de mandioca acrescentados de 10 % de gelatina ou glicerol. Em biofilmes com a mesma proporção de fécula, gelatina e glicerol, os autores verificaram, respectivamente, tensão na ruptura e alongação iguais 64,29 MPa e 3,87 % quando utilizaram fécula nativa e para biofilmes com fécula modificada estes valores foram iguais a 73,11 MPa e 4,15 %. Segundo BENINCA (2008), fécula modificada de mandioca é utilizada em cerca de 80 % do papel produzido no Brasil tendo em vista que proporciona melhor resistência em papeis para impressão e para embalagens.

ZAVAREZE et al. (2012) observaram que biofilmes com 3 % de fécula nativa de batata tiveram sua resistência à tração elevada de 3,53 para 6,39 MPa e a alongação reduzida de 85,2 para 45,33 % quando usaram a fécula oxidada. Biofilmes elaborados com amido modificado de milho (“cross-linked”) apresentaram tensão na ruptura de 2,5 MPa e 23,0 % de alongação quando utilizados 30 % de glicerol na formulação e para os biofilmes com 15 % do plastificante a resistência foi maior (22,0 MPa) enquanto a alongação se revelou menor (2,5 %) (REDDY & YANG, 2010). Este comportamento também foi demonstrado pelos biofilmes de fécula nativas e quimicamente modificadas de inhame, nesta pesquisa, como apresentado na Tabela 4.36 em relação à resistência à tração e Tabela 4.41, para a alongação.

MALI et al. (2005b) estudaram as propriedades mecânicas de biofilmes de féculas nativas de inhame (*Dioscorea alata*) com 3 % de fécula, diferentes concentrações de glicerol (1,3 e 2,0 %) e espessura de 0,07 mm. As tensões na ruptura desses biofilmes foram iguais a 7,84 e 4,18 MPa enquanto as porcentagens de alongação foram de 10,3 e 37,0 %, respectivamente. Os resultados de tensão na ruptura foram menores que os encontrados nesta pesquisa para os biofilmes de féculas de inhames São Tomé (*Dioscorea alata*) e Da Costa (*Dioscorea cayennensis*); no entanto, esses biofilmes se mostraram menos deformáveis que os citados por MALI et al. (2005b), conforme dados mostrados na Tabela 4.35.



Biofilme com amido de banana e glicerol foi produzido por PELISSARI et al. (2013) que encontraram 19,3 MPa e 4,5 % para tensão na ruptura e porcentagem de alongação, respectivamente.

## 5 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados analisados, conclui-se que:

- ✓ O processo de secagem das féculas de inhame na temperatura de 50 °C foi mais eficiente que nas demais temperaturas estudadas considerando-se que nesta condição as difusividades efetivas das féculas foram maiores (aproximadamente  $2,0 \times 10^{-10} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ , para féculas nativas e  $1,3 \times 10^{-10} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$  para féculas modificadas) e que os valores de teor de água de equilíbrio foram menores (entre 7,0 e 7,9 % b.u.) para as féculas nativas e modificadas das duas espécies de inhame (*Dioscorea alata* e *Dioscorea cayennensis*);
- ✓ Com valores de coeficientes de determinação superiores a 99,8 % e desvios quadráticos médios menores que 0,0175, as equações de Page, de Parry e de Henderson & Pabis se equivalem, no que se refere ao ajuste matemático aos dados experimentais da secagem das féculas nativas dos inhames *Dioscorea alata* e *Dioscorea cayennensis*; o mesmo ocorreu para as féculas modificadas. Os coeficientes de determinação foram maiores que 99,6 % e os desvios quadráticos médios inferiores a 0,0194 para a secagem das féculas modificadas de ambas as espécies de inhame;
- ✓ Os inhames *Dioscorea alata* e *Dioscorea cayennensis* apresentam rendimentos de extração de suas féculas nativas que podem favorecer seu uso, como matéria-prima para diversos setores industriais;
- ✓ O baixo teor de constituintes como cinzas, proteínas e lipídeos, evidenciou a obtenção de féculas de inhame com elevado grau de pureza (91,0 % de amido);
- ✓ O processo de modificação química (hidrólise ácida) não acarretou mudanças drásticas na estrutura superficial dos grânulos das diferentes féculas de inhame estudadas;

- ✓ Nas féculas nativas e modificadas de ambos os inhames, predominam grânulos com formatos elipsoides e triangulares com tamanhos que variam de 10,34  $\mu\text{m}$  a 48,28  $\mu\text{m}$ ;
- ✓ Além da concentração de glicerol (20 ou 30 %), os fatores variedade de inhame (São Tomé ou Da Costa), tipo de fécula (nativa ou modificada) e concentração de fécula (2, 4, 6, 8 e 10 %) mantêm influência significativa sobre grande parte das propriedades das féculas e, conseqüentemente, dos biofilmes obtidos a partir delas;
- ✓ Féculas nativas são mais densas, menos solúveis em água e possuem menor capacidade de intumescimento que as féculas modificadas;
- ✓ A fécula nativa de inhame Da Costa apresentou menor faixa de temperatura de gelatinização (69,63 a 81,00 °C) do que a fécula nativa de inhame São Tomé (67,14 a 84,19 °C);
- ✓ A hidrólise ácida ocasionou elevação das temperaturas de gelatinização das féculas modificadas em relação às nativas de inhame São Tomé e Da Costa ;
- ✓ Apesar de apresentarem altos valores de sinérese (cerca de 77 % para féculas nativas e 55 % para féculas modificadas), a modificação química das féculas nativas acarretou diminuição desta propriedade, indicando que as féculas ácido-modificadas apresentam menor tendência à retrogradação e maior estabilidade frente aos processos de congelamento e descongelamento, que as féculas nativas;
- ✓ A claridade das pastas de féculas modificadas também foi aumentada a partir do processo de modificação ácida das féculas nativas;
- ✓ Geis elaborados com féculas nativas de inhame são mais firmes e adesivos que os geis de féculas de inhame submetidas à modificação ácida;
- ✓ O processo de modificação química via hidrólise ácida das féculas nativas de inhame (*Dioscorea alata* e *Dioscorea Cayennensis*) conduziu a obtenção de

féculas modificadas com maior perda de água que as féculas nativas, para uma mesma temperatura;

- ✓ A equação de Smith forneceu melhor descrição dos dados experimentais das isotermas das féculas nativas e quimicamente modificadas de inhame (*Dioscorea alata* e *Dioscorea Cayennensis*) com valores médios de coeficiente de determinação maiores que 95,5 % e de desvios percentuais médios menores que 13,1 %;
- ✓ Em comparação com as féculas nativas, as féculas ácido-modificadas de inhame originaram biofilmes menos opacos e mais resistentes à tração com gramaturas e espessuras semelhantes às de outros biofilmes à base de féculas encontrados na literatura e mais próximas aos filmes comerciais de PVC;
- ✓ O aumento da quantidade de plastificante (glicerol) nos biofilmes de féculas (nativas ou modificadas) de inhame foi um dos fatores determinantes para a elevação das propriedades opacidade, solubilidade em água e porcentagem de alongação enquanto esta influência foi de forma contrária para a tensão na ruptura.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AICHAYAWANICH, S.; NOPHARATANA, M.; NOPHARATANA, A.; SONGKASIRI, W. Agglomeration mechanisms of cassava starch during pneumatic conveying drying. **Carbohydrate Polymers**. v. 84, n. 1, p. 292-298. 2011.

ALMEIDA, D. M. **Biofilme de blenda de fécula de batata e celulose bacteriana na conservação de fruta minimamente processada**. 2010. 283 f. Tese (Doutorado em Processos Biotecnológicos Agroindustriais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

AL-MUHTASEB, A. H.; Mc MINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders: Part 1: mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**. v. 61, n. 3, p. 297–307. 2004.

ALVES, C. C. de O. **Pós obtidos da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) liofilizada: higroscopicidade e microestrutura**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ALVES, R. M.; GROSSMANN, M. V.; FERRERO, C.; ZARITZKY, N. E.; MARTINO, M. N.; SIERAKOSKI, M. R. Chemical and functional characterization of products obtained from yam tubers. **Starch/Stärke**. v. 54, n. 10, p. 476–481. 2002.

AMANI, N. G.; BULÉON, A.; KAMENAN, A.; COLONNA, P. Variability in starch physicochemical and functional properties of yam (*Dioscorea* sp) cultivated in Ivory Coast. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 84, n. 15, p.2085–2096. 2004.

AMARAL, L. I. V. do; GASPAR, M.; COSTA, P. M. F.; AIDAR, M. P. M.; BUCKERIDGE, M. S. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. **Hoehnea**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 425-431. 2007.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Legislação em Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 de setembro de 2005. n. 184, seção 1, p. 368-369.

APLEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 478-484. 2007.

ARAÚJO, W. M. C.; BORGIO, L. A.; ARAÚJO, H. M. C. Aspectos da química e funcionalidade das substâncias químicas presentes nos alimentos. In: ARAÚJO, W. M. C.; MONTEBELLO, N. di P.; BOTELHO, R. B. A.; BORGIO, L. A. **Alquimia dos alimentos**. Ed. Brasília: Editora SENAC, v. 2, 2007, cap. 3. p. 89-178. (Série Alimentos e Bebidas). ISBN 85-986-9430-4.

ARAÚJO, V. Q. **Propriedades funcionais e térmicas do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) nativo e modificado quimicamente**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. de S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. de. Caracterização física e físico-química de rizomas e amido do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 159-166. 2010.

ASCHERI, D. P. R.; MOURA, W. de S.; ASCHERI, J. L. R.; FREITAS JUNIOR, E. A. Propriedades termodinâmicas de adsorção de água do amido de rizomas do lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 454-462. 2009.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting – D882, **Annual book of ASTM**, Philadelphia, (USA): American Society for Testing and Materials, 2010.

ÁVILA, R. de; ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. R. L. Caracterização dos rizomas filhos e da fécula do mangarito (*Xanthosoma mafaffa* Schott) e elaboração de filmes biodegradáveis. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 30, n. 1, p. 35-52. 2012.

AZEREDO, H. M. C. de; PINTO, G. A. S.; BRITO, E. S. de; AZEREDO, R. M. C. de. Alterações microbiológicas durante a estocagem. In: VILLADIEGO, A. M. D.; GARRUTI, D. dos S.; BRITO, E. S. de; PINTO, G. A. S.; AZEREDO, H. M. C. de. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 2004. p. 19-35. ISBN 85-89946-03-7.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. v. 3. São Paulo: Atheneu, 1998, 316p. ISBN 8573790482.

BELLO-PÉREZ, L. A.; MONTEALVO, M. G. M.; ACEVEDO, E. A. Almidón: definición, estructura y propiedades. In: LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionales iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. cap. 1, p. 17-46, 648p ISBN 85-314-0935-7.

BEMILLER, J. N. Starch modification: challenges and properties. **Starche/Stärke**. v. 49, n. 4, p.31-127. 1997.

BENALI, M. Drying of yellow pea starch on inert carriers: Drying kinetics, moisture diffusivity, and product quality. **Journal of Food Engineering**. v. 110, n. 3, p. 337–344. 2012.

BENINCA, C. **Emprego de técnicas termoanalíticas na análise de amidos nativos e quimicamente modificados de diferentes fontes botânicas**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

BERTAN, L. C. **Desenvolvimento e caracterização de filmes simples e compostos à base de gelatina, ácidos graxos e breu branco**. 2003. 148 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2003. 238p. ISBN 85-85519-02-9.

BOBIO, P. A.; BOBIO, F. O. **Química do Processamento de Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 1992. 151 p. ISBN 85-85519-12-6.

BOGRACHEVA, T. Y.; MEARES, C.; HEDLEY, C. L. The effect of heating on the thermodynamic characteristics of potato starch. **Carbohydrate Polymers**. v. 63, n. 3, p. 323–330. 2006.

BORBA, M. R. da C.; SCARPARE FILHO, J. A.; KLUGE, R. A. Teores de carboidratos em pessegueiros submetidos a diferentes intensidades de poda verde em clima tropical. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 68-72. 2005.

BROD, F. P. R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado**. 2003. 336 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BROOKER, D. B., BAKKER ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying Cereal Grains**. The AVI Publishing Company, Inc. Westport: Connecticut. 1974. 256 p.

BULÉON, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. Starch granules: structure and biosynthesis – Mini review. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 23, n. 2, p. 85-112. 1998.

BUTARELO, S. S.; BELEIA, A.; FONSECA, I. C. de B.; ITO, K. C. Hidratação de tecidos de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.) e gelatinização do amido durante a cocção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 3, p. 311-315. 2004.

CARLESSO, V. de O.; BERBERT, P. A.; SILVA, R. F. da; VIANNA, A. P.; DETMANN, E.; DIONELLO, R. G. Secagem de sementes de maracujá em camada delgada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 444-448. 2005.

CARLOS, L. de A.; RESENDE, J. V. de; CAL-VIDAL, J. Redução da higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções-modelo de açúcares



constituintes de frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.8, n.2, p. 163-173. 2005.

CASARIN, S. A. **Desenvolvimento e caracterização de blendas e de compostos empregando polímeros biodegradáveis**. 2004. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade federal de São Carlos, São Carlos.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M. Secagem de sementes. In: ALMEIDA, F. A. C.; GARCÍA, F. P.; VILLAMIL, J. M. P.; MARTÍNEZ-LABORDE, J. B.; FARONI, L. R. A. **Tecnologia de armazenagem em sementes**. cap. 6, p. 271-370. Ed. Campina Grande: UFCG. 2006. ISBN 85-906645-0-3.

CEREDA, M. P.. Fécula de mandioca como ingrediente para alimentos. **Revista da ABAM**, a.III, n.11, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/revista>>. Acesso em: 08 de março 2012.

CEREDA, M. P; VILPOUX, O.; DEMIATE, I. M. Amidos modificados. In: MENDES, B. de P. et al. **Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, 2003, cap. 12, p. 246-333. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch - Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. **Food Hydrocolloids**. Oxford, v. 28, n. 1, p. 59-67. 2012.

CHOI, S. G.; KERR, W. L. Water mobility and textural properties of native and hydroxypropylated wheat starch gels. **Carbohydrate Polymers**. v. 51, n. 1, p. 1-8. 2003.

CLADERA-OLIVERA, F.; MARCZAK, L. D. F.; NOREÑA, C. P. Z.; PETTERMANN, A. C. Modeling water adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) flour and thermodynamic analysis of the adsorption process. **Journal of Food Process Engineering**. v. 34, n. 3, p. 826-843. 2011.

- CORRÊA, B. M.; LOPES FILHO, J. F.; ALMEIDA, C. B.; TAVARES, L. L. Comparação entre biofilmes elaborados à base de zeína e à base de zeína com gelatina. In: Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 21, 2009. São José do Rio Preto, SP. **Anais...** 2009. Disponível em: <[http://prope.unesp.br/xxi\\_cic/27\\_33457809844.pdf](http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_33457809844.pdf)>. Acesso em: 03 de julho 2013.
- CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; STRINGHETA, P. C.; CARDOSO, J. B. Equilíbrio higroscópico e atividade de água para ovo integral processado em “spray dryer”. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.15-22. 2002.
- CORREIA, P. R.; NUNES, M. C.; BEIRÃO-da-COSTA, M. L. The effect of starch isolation method on physical and functional properties of Portuguese nut starches. II. *Q. rotundifolia* Lam. and *Q. suber* Lam. acorns starches. **Food Hydrocolloids**. v.30, n. 2 , p. 448-455. 2013.
- COSTA, J. M. C. da; MEDEIROS, M. F. D; MATA, A. L. M. L. da. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro, estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**. v. 34, n. 1, p. 05-09. 2003.
- COVA, A.; SANDOVAL, A. J.; BALSAMO, V.; MÜLLER, A. J. The effect of hydrophobic modifications on the adsorption isotherms of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**. v. 81, n. 3, p. 660–667. 2010.
- CRAIG, S. A. S.; MANINGAT, C. C.; SEIB, P. A.; HOSENEY, R. C. Starch paste clarity. **Cereal Chemistry**. v. 66, n. 3, p. 173-182. 1989.
- CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. Oxford: Clarendon Press, 2<sup>a</sup> ed. 1975. 414 p.
- D’AVILA, V. D. L. **Biofilmes à base de gelatina, aplicados na conservação de frutos de mirtilo (*Vaccinium ashei* Reade)**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DA RÓZ. O futuro dos plásticos: biodegradáveis e fotodegradáveis. **Polímeros**. v. 13., n. 4, p. E4-E5. 2003.

DAIÚTO, E. R.; CEREDA, M. P. Extração de fécula de inhame (*Dioscorea sp.*). In: MENDES, B. de P. et al. **Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, 2003, cap. 8, p. 176-191. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

DAMASCENO, S.; OLIVEIRA, P. VIEIRA S.; MORO, E.; MACEDO JUNIOR, E. K.; LOPES, M. C.; VICENTINI, N. M. Efeito da aplicação de película de fécula de mandioca na conservação pós-colheita de tomate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 377-380. 2003.

DAVANÇO, T. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes à base de gelatina, triacetina, ácido esteárico ou ácido capróico e surfactantes**. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DEEPIKA, K.; KUMAR, J.; ANIMA, P.; Isolation and physicochemical characterization of sustained releasing starches from *Dioscorea* of Jharkhand. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 55, p.193– 200. 2013.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.3. 2009.

DIAS, A. R. G.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; HELBIG, E. Oxidação dos amidos de mandioca e de milho comum fermentados: desenvolvimento da propriedade de expansão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n.4, p.794-799. 2007.

DIAS, R. A. de L.; SOUZA, P. S.; ALSINA, O. L. S. de. Secagem e Extração de Taninos Totais da Hortelã (*Mentha x vilosa* Hudson). **Revista Agrarian**, Dourados, v.4, n.12, p.123-133. 2011.

DJABALI, D.; BELHANECHÉ, N.; NADJEMI, B.; DULONG, V.; PICTON, L. Relationship between potato starch isolation methods and kinetic parameters of hydrolysis

by free and immobilised  $\alpha$ -amylase on alginate (from *Laminaria digitata* algae). **Journal of Food Composition and Analysis**. v. 22, n. 6, p. 563 - 570. 2009.

DRUNKLER, D. A. **Produção de requeijão cremosos simbiótico**. 2009. 178 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, F. A. C.; Secagem de sementes. In: ALMEIDA, F. A. C.; GARCÍA, F. P.; VILLAMIL, J. M. P.; MARTÍNEZ-LABORDE, J. B.; FARONI, L. R. A. **Tecnologia de armazenagem em sementes**. cap. 5, p. 191-269. Ed. Campina Grande: UFCG. 2006. ISBN 85-906645-0-3.

DURANGO, A. M.; SOARES, N. de F. F.; ANDRADE, N. J. Extração e caracterização do amido de inhame e desenvolvimento de filmes comestíveis antimicrobianos, **Revista Temas Agrarios**, Montería, v. 14, n. 2. p. 1-18. 2009.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. M. MILANEZ, C. R.; STEEL, C. J. COLLARES-QUEIROZ, F. P. Filmes e coberturas comestíveis compostas à base de amidos nativos e gelatina na conservação e aceitação sensorial de uvas Crimson. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. v. 27, n.2, p. 369-375. 2007.

FAKHOURY, F. M.; MARTELLI, S. M.; BERTAN, L. C.; YAMASHITA, F.; MEI, L. H. I.; QUEIROZ, F. P. C. Edible films made from blends of manioc starch and gelatin e Influence of different types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. **LWT- Food Science and Technology**. v. 49, n.1, p. 149-154. 2012.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT. 2009. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2012.

FARIAS, M. G.; FAKHOURI, F. M.; CARVALHO, C. W. de P.; ASCHERI, J. R. L. Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Química Nova**. v. 35, n. 3, p. 546-552. 2012.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípio e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p. ISBN 8536306521.

FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. 2 ed. Zaragoza : Editorial Acribia S.A. 2000. 1258p. ISBN 84-200-0733-1.

FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo). **Reciclagem de embalagens plásticas usadas contendo óleo lubrificante**. Ed. São Paulo: FIESP, 2007. 28p. (Normas e Manuais Técnicos).

FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANEY, G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**. v.226, n.1, p.497-509. 1957.

FRANCO, C. M. L.; DAIÚTO, E. R.; DEMIATE, I. M.; CARVALHO, L. J. C. B.; LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O.; SARMENTO, S. B. S. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: Fundação Cargill, v.1, p. 140-185, 2002. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

FREITAS, M. C. J.; TAVARES, D. de Q. Caracterização do grânulo de amido de bananas (*Musa* AAA-Nanicão e *Musa* AAB-Terra). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 217-222. 2005.

FURTADO, G. de F.; SILVA, F. S. da; PORTO, A. G.; SANTOS, P. dos. Secagem de polpa de seriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.9-14. 2010.

GALDEANO, M. C. **Filmes e laminados biodegradáveis de amido de aveia com diferentes plastificantes, produzidos por casting e extrusão**. 2007. 168 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

GALDEANO, M. C.; GROSSMANN, M. V. E.; MALI, S.; BELLO-PEREZ, L. A.; GARCIA, M. A.; ZAMUDIO-FLORES, P. B. Effects of production process and

plasticizers on stability of films and sheets of oat starch. **Materials Science and Engineering C**. v. 29, n. 2, p. 492–498. 2009.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. da.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008. 512p. ISBN 978-85-213-1382-3.

GERALDI, C. A. Q. **Estudo da secagem de fécula de mandioca em secador pneumático - flash dryer**. 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

GOMES, A. M. M.; SILVA, C. E. M.; RICARDO, N. M. P. S. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (polvilho azedo). **Carbohydrate Polymers**. v. 60, n. 1, p. 1-6. 2005.

GONÇALVES, E. C. B. de A. **Análise de Alimentos: uma visão química da nutrição**. 2 ed., São Paulo: Varela, 2010. 274p. ISBN 978-85-7759-007-0.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. dos. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n.1, p.135-140. 2007.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**. v. 85, n. 1, p. 73–83. 2008.

GUEDES, A. M. M.; FARIA, L. J. G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.2, n.1, p.73-86. 2000.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**. v.6, n.3, p.169-174. 1961.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir do amido modificado de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.1, p.231-240. 2008.

HENRIQUE, C. M.; EVANGELISTA, R. M. Processamento mínimo de cenouras orgânicas com uso de películas biodegradáveis. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v.12, n. 3, p.7-14. 2006.

HENRIQUÉZ, C.; ESCOBAR, B; FIGUEROLA, F.; CHIFFELLE, I.; SPEISKY, H.; ESTÉVEZ, A. M. Characterization of piñon seed (*Araucaria araucana*) and the isolated starch from the seed. **Food Chemistry**. v. 107, n. 2, p. 592-601. 2008.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**. v. 45, n. 3, p. 253–267. 2001.

HUANG, C. C.; LAI, P.; CHEN, I. H.; LIU, Y. F.; WANG, C. C. R. Effects of mucilage on the thermal and pasting properties of yam, taro, and sweet potato starches. **LWT - Food Science and Technology**. v. 43, n. 6, p. 849–855. 2010.

HUANG, J.; SCHOLS, H. A.; VAN SOEST, J. J. G.; JIN, Z.; SULMANN, E.; VORAGEN, A. G .J. Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches. **Food Chemistry**. v. 101, n. 4, p. 1338-1345. 2007.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4.ed. Brasília, 2005. 1015p. ISBN 85-334-1038-7.

ISHIGURO, K.; NODA, T.; KITAHARA, K.; YAMAKAWA, O. Retrogradation of sweetpotato starch. **Starch - Stärke**. v. 52, n. 1, p. 13–17. 2000.

IZIDORO, D. R. **Influência do pré-tratamento com ultra-som e da secagem nas propriedades químicas, físicas e funcionais do amido de banana verde**. 2011. 201 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

JAYAKODY, L.; HOOVER, R. The effect of lintnerization on cereal starch granules. **Food Research International**. v. 35, n. 7, p. 665–680. 2002.

JAYAKODY, L.; HOOVER, R.; LIU, Q.; DONNER, E. Studies on tuber starches III. Impact of annealing on the molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka. **Carbohydrate Polymers**. v. 76, n. 1, p. 145–153. 2009.

JIANG, Q.; GAO, W.; SHI, Y.; LI, X.; WANG, H.; HUANG, L.; XIAO, P. Physicochemical properties and *in vitro* digestion of starches from different *Dioscorea* plants. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 32, n. 2, p. 432-439. 2013.

KARAPANTSIO, T. D. Conductive drying kinetics of pregelatinized starch thin films. **Journal of Food Engineering**. v. 76, n. 4, p. 477–489. 2006.

KAUR, L.; SINGH, J.; MCCARTHY, O. J.; SINGH, H. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. **Journal of Food Engineering**. v. 82, n. 3, p. 383–394. 2007.

KITAHARA, K.; COPELAND, L. A simple method for fractionating debranched starch using a solid reversed-phase cartridge. **Journal Cereal Science**. v.39, n. 1, p.91-98. 2004.

KUROZAWA, L. E.; EL-AOUAR, A. A.; MURR, F. E. X. Obtenção de isothermas de dessorção de cogumelo in natura e desidratado osmoticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.4, p. 828-834. 2005.

LABUZA, T. P.; HYMAN, C. R. Moisture migration and control in multi-domain foods. **Trends in Food Science & Technology**. v. 9, n. 2, p. 47-55. 1998.

LAOHAKUNJIT, N.; NOOMHORM, A. Effect of plasticizers on mechanical and barrier properties of rice starch film. **Starch/Stärke**. v. 56, n. 8, p. 348–356. 2004.



LAWAL, O. S.; ADEBOWALE, K. O. Physicochemical characteristics and thermal properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. **Carbohydrate Polymers**. v. 60, n. 3, p. 331–341. 2005.

LAWAL, O. S.; ADEBOWALE, K. O.; OGUNSANWO, B. M.; BARBA, L. L.; ILO, N. S. Oxidized and acid thinned starch derivatives of hybrid maize: functional characteristics, wide-angle x-ray diffractometry and thermal properties. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 35, n. 1-2, p. 71–79. 2005.

LEE, H. C.; HTOON, A. K.; PATERSON, J. L. Alkaline extraction of starch from Australian lentil cultivars Matilda and Digger optimised for starch yield and starch and protein quality. **Food Chemistry**. v. 102, n. 3, p. 551–559. 2007.

LEE, M. H.; BAEKB, M. H.; CHAB, D. S.; PARKB, H. J.; LIMB, S.T. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gums. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 16, n. 4, p. 345-352. 2002.

LEHN, D. N.; PINTO, L. A. de A. Isotermas de equilíbrio e curvas de secagem para arroz em casca em silos de armazenagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 177-191. 2004.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.3, p. 579-588. 2007.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.22, n.1, p.65-69. 2002.

LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; FERRARI, T. B. Aproveitamento do gengibre (*Zingiber officinale*) de qualidade inferior como matéria-prima amilácea. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 9-18. 2005.

LI, J.-Y.; YEH, A.-I. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. **Journal of Food Engineering**. v. 50, n. 3, p. 141–148. 2001.

LI, W. Y.; YAN, S. H.; YIN, Y. P.; LI, Y.; LIANG, T. B.; GU, F.; DAI, Z.; WANG, Z. comparison of starch granule size distribution between hard and soft wheat cultivars in Eastern China. **Agricultural Sciences in China**. v. 7, n. 8, p. 907-914. 2008.

LIU, Z.; HAN, J. H. Film-forming Characteristics of Starches. **Journal of Food Science**. v.70, n. 1, p. E31-E36. 2005.

LIMA, A. W. O.; SOUSA, C. P. Fundamentos de microbiologia de alimentos. In: LIMA, A. W. O.; SOUSA, C. P.; MADRUGA, A. S.; ALDRIGUE, M. L.; FIOREZE, R. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. v. 1. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB/Ideia. 2002. p. 103-146.

LIPORACCI, J. S. N.; MALI, S.; GROSSMAN, M. V. Efeito do método de extração na composição química e nas propriedades funcionais do amido de inhame (*Dioscorea alata*). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina. v. 26, n. 3, p. 345-352. 2005.

LÓPEZ, O. V.; GARCÍA, M. A.; ZARITZKY, N. E. Film forming capacity of chemically modified corn starches. **Carbohydrate Polymers**. v. 73, n. 4, p. 573–581. 2008.

MA, X.; YU, J.; KENNEDY, J. F. Studies on the properties of natural fibers-reinforced thermoplastic starch composites. **Carbohydrate Polymers**. v. 62, n. 1, p.19–24. 2005.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. **Journal of Food Engineering**. v. 75, n. 4, p. 453–460. 2006.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Mechanical and thermal properties of yam starch films. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 157-164. 2005b.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Microstructural characterization of yam starch films. **Carbohydrate Polymers**. v. 50, n. 4, p. 379–386. 2002.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156. 2010.

MALI, S.; SAKANAKA, L. S.; YAMASHITA, F.; GROSSMANN, M. V. E. Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**. v. 60, n. 3, p. 283–289. 2005a.

MARINI, L. J.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Efeito da temperatura de secagem e relação de intermitência na inativação enzimática e viscosidade de pasta de aveia. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.13, n.1, p.55-60. 2007.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.301–306. 2007.

MARTINEZ, C. Y.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinária y molinera del arroz**. Guia del estudio. Cali: CIAT, 1989. 75 p.

MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**. v. 82, n. 1, p. 61-71. 2003.

MATSUGUMA, L. S. **Caracterização do amido de mandioquinha salsa (*Arracacia Xanthorrhiza*) nativo e modificado por oxidação**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado de Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

MATTA JR, M. D. da; SARMENTO, S. B. S.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; ZOCCHI, S. S. Propriedades de barreira e solubilidade de filmes de amido de ervilha associado com goma xantana e glicerol. **Polímeros**. v. 21, n. 1, p. 67-72. 2011.

McCABE, W.L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit Operation of Chemical Engineering**, 7. ed., McGraw-Hill International Book, 2005. 1140p.

MEHYAR, G. F.; HAN, J. H. Physical and mechanical properties of high-amylose rice and pea starch films as affected by relative humidity and plasticizer. **Journal of Food Science**, v. 69, n. 9, p. 449-454. 2004.

MELO, C. de P. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca e goma xantana**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

MISHRA, S.; RAI, T. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v.20, n. 5, p. 557–566, 2006.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**. v.66, n. 4, p.513-18. 2005.

MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A. Cultura do inhame. In: **Agricultura: cultura de tuberosas amiláceas latino-americanas**. Fundação Cargill. v. 2. 2002, p. 511-518. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

MORETTO, E.; FETT, R.; GONZAGA, L. V. KUSKOSKI, E. M. **Introdução à ciência de alimentos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2002. 255p. (Série Nutrição). ISBN 8532802133.

MORIKAWA, K.; NISHINARI, K. Effects of concentration dependence of retrogradation behaviour of dispersions for native and chemically modified potato starch. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 14, n. 4, p. 395–401. 2000.

MOTA, L. R. **Controle de qualidade de embalagens flexíveis para biscoitos**. 2004. 69 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia.

MUCCILLO, R. C. S. T. **Caracterização e avaliação de amido nativo e modificado de pinhão mediante provas funcionais e térmicas**. 2009. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NASCIMENTO, R. M. de M.; VIANA, M. M. M.; SILVA, G. G.; BRASILEIRO, L. B. Embalagem cartonada longa vida: lixo ou luxo? **Química Nova na Escola**. n. 25, p. 3-7, maio. 2007.

NUNES, L. B.; SANTOS, W. de J. dos; CRUZ, R. S. Rendimento de extração e caracterização química e funcional de féculas de mandioca da região do semi-árido baiano. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v.20, n.1, p. 129-134. 2009a.

NUNES, L. de S. **Obtenção de amido de inhame e sua utilização no preparo de alimentos à base de leite**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

NUNES, L. de S.; DUARTE, M. E.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Avaliação do comportamento higroscópico de amido de inhame. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.2, p.149-158. 2009b.

NÚÑEZ-SANTIAGO, M. C.; BELLO-PÉREZ, L. A.; TECANTE, A. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. **Carbohydrate Polymers**. v. 56, n. 1, p. 65–75. 2004.

OLIVEIRA, A. P. **Inhame: alimento indispensável à mesa nordestina**. Associação Brasileira de Horticultura, 2006. Disponível em <<http://www.abhorticultura.com.br/News/Default.asp?id=4966>> . Acesso em 14 de fevereiro de 2012.

OLIVEIRA, M. A. de; CEREDA, M. P. Pós-colheita de pêssegos (*Prunus pérsica* L. Bastsch) revestidos com filmes à base de amido como alternativa à cera comercial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, suppl, p. 28-33. 2003.

OLIVEIRA, R. A. de; OLIVEIRA, W. P. de; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.181-189. 2006.

OLIVEIRA, T. M. de. **Desenvolvimento e avaliação de filme biodegradável de polietileno incorporado de amido de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)**. 2007. 108 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, T. M. de; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T. da S.; GERMANI, R.; FONTES, M. P. F. Caracterização do amido de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 27, n. 1, p. 27-42. 2009.

OLIVEIRA, T. P. de; ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. de. Efeito do sorbitol e da misturas de amidos de milho e de lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) no tempo de secagem das soluções filmogênicas e nas características dos filmes biodegradáveis. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 1, n. 1, p. 111-128. 2010.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A.; CAMBERO RODRÍGUEZ, M. I.; FERNÁNDEZ ÁLVAREZ, L.; GARCÍA SANZ, M. L.; FERNANDO MINGUILLÓN, G. D. G. de; HOZ PERALES, L. de la; SELGAS CORTECERO, M. D. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. v.1. Porto Alegre: Artmed, 2005. 294p. ISBN 8536304367.

OSWIN, C. R. The kinetics of package life III. the isotherm. **Journal of Chemical Industry**. v. 65, n. 12, p. 419–421. 1946.

OYELADEA, O. J.; TUNDE-AKINTUNDEB, T. Y.; IGBEKAC, J. C.; OKEB, M. O.; RAJID, O. Y. Modelling moisture sorption isotherms for maize flour. **Journal of Stored Products Research**. v. 44, p. 179–185, 2008.

PAGE, C. **Factors influencing the maximum rates of drying shelled corn in layers**. 1949. 72 f. Dissertation (Agricultural Engineering M. Sc.). Agricultural Engineering Department. Ind. Purdue University, West Lafayette.

PARK, S.; ZHAO, Y. Incorporation of mineral or vitamin into chitosan-based films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 52, n.7, p. 1933-1939. 2004

PARK, K. J. ; ANTONIO, G. C.; Oliveira, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. CTEA – UNICAMP. Campinas, 2007.

PARRY, J. L. Mathematical modelling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying: a review. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 32, n.1, p. 1-29. 1985.

PEDRALLI, G.; CARMO, C. A. S.; CEREDA, M.; PUIATTI, M. Uso de nomes populares para as espécies de *Araceae* e *Dioscoreaceae* no Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 530-532. 2002.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**. v. 16, n. 1, p. 21–37. 1993.

PELISSARI, F. M. de.; ANDRADE-MAHECHA, M. M.; SOBRAL, P. J. do A.; MENEGALLI, F. C. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Hydrocolloids**. v. 30, n. 2, p. 681-690. 2013.

PENG, G.; CHEN, X.; WU, W.; JIANG, X. Modeling of water sorption isotherm for corn starch. **Journal of Food Engineering**. v. 80, n. 2, p. 562-567. 2007.

PERDOMO, J.; COVA, A.; SANDOVAL, A. J.; GARCÍA, L.; LAREDO, E.; MÜLLER, A. J. Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**. v. 76, n. 2, p. 305–313. 2009.

PEREIRA, L. D. **Caracterização do amido nativo e modificação química do amido da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum*) com tripolifosfato de sódio**. 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis

PEREIRA, L. H. G. **Obtenção e estudo das propriedades físico-químicas de amido de mandioca (*Manihot esculenta*) oxidados e ácido-modificados**. 2008. 108 f. Dissertação

(Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

PEREZ-GAGO, M. B.; KROCHTA, J. M. Denaturation time and temperature effects on solubility, tensile properties, and oxygen permeability of whey protein edible films. **Journal of Food Science**. v. 66, n. 5, p. 705-710. 2001.

PERONI, F. H. G. **Características estruturais e físico-químicas de amidos obtidos de diferentes fontes botânicas**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto.

PIMENTEL, J. D. R.; SOUZA, D. S.; OLIVEIRA, T. V.; OLIVEIRA, M. C.; BASTOS, V. S.; CASTRO, A. A. Estudo da conservação de mamão Havaí utilizando películas comestíveis a diferentes temperaturas. **Scientia Plena**. v. 7, n. 10, p. 1-6, 2011.

POLESI, L. F. **Amido resistente obtido a partir de leguminosas e de seus hidrolisados**. 2009. 128f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PRATES, M. F. O.; ASCHERI, D. P. R. Efeito da cobertura de amido de fruta-de-lobo e sorbitol e do tempo de armazenamento na conservação pós-colheita de frutos de morango. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 29, n. 1, p. 21-32, 2011.

PRATES, M. F. O.; ASCHERI, D. P. R. Secagem de soluções filmogênicas de amido de fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hil.) e propriedades físicas dos filmes em função do plastificante e da temperatura. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 28, n. 2, p. 187-204, 2010.

PRATES, M. F. O. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de fruta-de-lobo e sorbitol e aplicação da cobertura em frutos de morango**. 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.



REDDY, N.; YANG, Y. Citric acid cross-linking of starch films. **Food Chemistry**. v. 118, n. 3, p. 702–711. 2010.

REIS, R. C. dos; ASCHERI, D. P. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas do tubérculo e propriedades químicas e funcionais do amido de inhame (*Dioscorea sp.*) cultivar São Bento. **Revista Agrotecnologia**. v. 1, n. 1, p.71-88. 2010.

**RIQUEZAS NATURAIS DO AMIDO**. Paranavaí: ABAM, v. 2, n. 7, jun/ago, 2004. Disponível em: < <http://www.abam.com.br/revista/revista7/editorial.php> >. Acesso em; 08 de março 2012.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 620-628. 2008.

RONDÁN-SANABRIA, G. G.; FINARDI-FILHO, F. Physical–chemical and functional properties of maca root starch (*Lepidium meyenii* Walpers). **Food Chemistry**. v. 114, n. 2, p. 492–498. 2009.

ROSALINA, I.; BHATTACHARYA, M. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. **Carbohydrate Polymers**, v. 48, n. 2, p. 191-202. 2002.

SAHORÉ, D. A.; AMANI, N. G.; KAMENAN, A. Functional properties of wild yam (*Dioscorea spp.*) starches. **Tropical Science**. v. 47, n. 1, p. 33-37. 2007.

SAKANAKA, L. S. **Confecção de biofilmes biodegradáveis por extrusão de blendas de amido termoplástico e polibutileno succinato co-adipato (PBSA)**. 2007. 109 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; ANDRADE, S. A. C.; LIVERA, A. V. S. Caracterização físico-química do grânulo do amido do feijão caupi. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 525-530. 2005.

SALINAS, R. D. **Alimentos e nutrição: introdução à bromatologia**. 3 ed., Porto Alegre: Artmed, 2002, 278p. ISBN 85-7307-991-6.

SANABRIA, G. G. R. **Propriedades físico-químicas do amido isolado, estudo de parâmetros enzimáticos durante o armazenamento e caracterização de enzimas amilolíticas em raízes de maca (*Lepidium meyenii* Walp)**. 2010. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade de São Paulo - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo.

SANDHU, K. S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**. v. 101, n. 4, p. 1499-1507. 2007.

SANDHU, K. S.; SINGH, N.; KAUR, M. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. **Journal of Food Engineering**. v. 64, n. 1, p. 119–127. 2004.

SANTOS, A. E. O. dos; ASSIS, J. de; BERBERT, P. A.; SANTOS, O. O. dos; BATISTA, P. F.; GRAVINA, G. de A. Influência de biofilmes de fécula de mandioca e amido de milho na qualidade pós-colheita de mangas ‘Tommy Atkins’. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 3, p.508-513, 2011a.

SANTOS, A. F. dos; SILVA, F. V. G. da; LOPES, M. F.; VIEIRA, M. M. S.; BEZERRA, J. M. B. Uso de biofilmes comestíveis na conservação pós-colheita de tomates e pimentões **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, n. 5, p.146 – 153, 2011b.

SANTOS, A. P. dos. **Extração e caracterização do amido do fruto-do-lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hil) e elaboração de filmes biodegradáveis**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Moleculares) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

SANTOS, C. T.; BONOMO, R. F.; CHAVES, M. A.; FONTAN, R. da C. I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum Technolog**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 309-313. 2010.

SANTOS, E. S. dos. Esclarecimentos sobre as Denominações dos Gêneros *Disoscorea* e *Colocasia*. In: Simpósio Nacional sobre as Culturas do Inhame e do Taro, 2, 2002, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: EMEPA-PB, 2002. v. 1, 312 p. Disponível em; < <http://www.emepa.org.br/anais/volume1/av117.pdf>>. Acesso em 20 de abril de 2010.

SANTOS, E. S.; CEREDA, M. P.; PEDRALLI, G.; PUIATTI, M. Denominações populares das espécies de *Dioscorea* e *Colocasia* no Brasil. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 1, n. 1, p.37-41. 2007.

SARANTÓPOULOS, C. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V; GRACIA, E. E. C. **Embalagens Plásticas Flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. CETEA/ ITAL, Campinas. 2002. 267 p.

SCHMITZ, C. S. **Avaliação do dihidroxipropilamido (DHPA) obtido a partir do amido de mandioca comparativamente ao hidroxipropilamido (HPA) e aos amidos nativos de milho e de mandioca**. 2004. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SCHOCH, T. J.; LEACH, W. H. Determination of absolute density liquid displacement. In: WHESTLES, R. L.; WOLFROM, M. L. (Ed.). **Methods in carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, v. 4, p. 101-103. 1964.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 79-88. 2007.

SHIRAI, M. A.; HAAS, A.; FERREIRA, G. F.; MATSUGUMA, L. S.; FRANCO, C. M. L.; DEMIATE, I. M. Características físico-químicas e utilização em alimentos de amidos modificados por tratamento oxidativo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 239-247. 2007.

SILVA, A. S.; MELO, K. dos S.; ALVES, N. M. C.; GOMES, J. P. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 107-115. 2009.

SILVA, C. K. F. da. **Estimação de parâmetros de secagem de alimentos - formulação de Luikov e uso da transformada integral generalizada**. 2010. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SILVA, E. M. da. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão**. 2011. 37 f. Monografia ( Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, **Proceedings...** Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, G. de O. da; TAKIZAWA, F. F.; PEDROSO, R. A.; FRANCO, C. M. L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; DEMIATE, I. M. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, n.1, p. 188-197. 2006.

SILVA, M. H. L.; SILVA, C. O. da. Caracterização parcial de amido de banana-nanica (*Musa sp.* AAA Cavendish). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n. 303, p. 751-762, 2005.

SILVA, R. M.; FERREIRA, G. F.; SHIRAI, M. A.; HAAS, A.; SCHERER, M. L.; FRANCO, C. M. L.; DEMIATE, I. M. Características físico-químicas de amidos modificados com permanganato de potássio/ácido láctico e hipoclorito de sódio/ácido láctico. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 28, n.1, p. 66-77. 2008a.

SILVA, W. A. da; PEREIRA, J.; CARVALHO, C. W. P. de; FERRUA, F. Q. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 154-163. 2007.

SILVA, W. P. da; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; SILVA, C. D. P. S. e; GUEDES, M. A.; LIMA, A. G. B. Determinação da difusividade e da energia de ativação para feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), variedade sempre-verde, com base no comportamento da secagem. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.325-333. 2008b.

SINGH, N.; SANDHU, K. S.; KAUR, M. Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicerarietinum* L.) cultivars. **Journal of Food Engineering**. v. 63, n. 4, p. 441-449. 2004.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**. v. 81, n. 2, p. 219–231. 2003.

SINGH, V.; ALI, S. Z. Acid degradation of starch. The effect of acid and starch type. **Carbohydrate Polymers**. v. 41, n. 2, p.191–195. 2000.

SIRACUSA, V.; ROCCULI, P.; ROMANI, S.; ROSA, M. D. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**. v. 19, n. 12, p. 634-643. 2008.

SMITH, S. E. The sorption of water vapour by high polymers. **Journal of the American Chemical Society**. v. 69, n. 3, p. 646. 1947.

SOARES, N. M. V. E. **Valorização dos óleos alimentares usados para produção e utilização de biodiesel à escala municipal: estudo de caso – concelho de Mafra análise energética, ambiental e económica da utilização de biodiesel vs. gasóleo na frota municipal**. 2010. 7 f Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

SOBRAL, P. J. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1251-1259. 2000.

SOBRAL, P. J. A. Propriedades funcionais de biofilmes de gelatina em função da espessura. **Ciência & Engenharia**, Uberlândia, v. 8, n. 1, p. 60-67. 1999.

SOUZA, C. O. de; MACHADO, B. A. S.; DRUZIANJ. I. Filme biodegradável antioxidante à base de amido e/ou fécula contendo frutas e/ou derivados, coprodutos e subprodutos. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 6, n. 1, p. 20-26. 2013.

SOUZA, P. A de; AROUCHA, E. M. M.; SOUZA, A. E. D. de; COSTA, A. R. F. C. da; FERREIRA, G. de S.; BEZERRA NETO, F. Conservação pós-colheita de berinjela com revestimentos de fécula de mandioca ou filme de PVC. **Horticultura Brasileira**. v. 27, n. 2, p. 235-239, 2009.

SPADA, J. C.; NOREÑA, C. P. Z.; MARCZAK, L. D. F.; TESSARO, I. C. Water adsorption isotherms of microcapsules with hydrolyzed pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch as wall material. **Journal of Food Engineering**. v. 114, n. 1, p. 64–69. 2013.

SPADA, J. C. **Uso do amido de pinhão como agente encapsulante**. 2011. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SPIER, F. **Efeito dos tratamentos alcalino, ácido e oxidativo nas propriedades de amido de milho**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

STAHL, J. A.; LOBATO, L. P.; BOCHI, V. C.; KUBOTA, E. H.; GUTKOSKI, L. C.; EMANUELLI, T. Physicochemical properties of Pinhão (*Araucaria angustifolia*, Bert, O. Ktze) starch phosphates. **LWT - Food Science and Technology**. v. 40, n. 7, p. 1206-1214 . 2007.

STATSOFT, **STATISTICA for Windows version 8.0**. Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 2008.

SUJKA, M.; JAMROZ, J. Starch granule porosity and its changes by means of amylolysis. **International Agrophysics**, Poland, v. 21, n. 2, p. 107-113. 2007.

SURMELY, R.; ALVAREZ, H.; CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Hidrólise do amido. In: MENDES, B. de P. et al. **Tecnologia, uso e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, v.3, 2003, cap. 15, p. 377-448. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino-Americanas).

TAPIA-BLÁCIDO, D.; SOBRAL, P. J.; MENEGALLI, F. C. Development and characterization of biofilms based on amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). **Journal of Food Engineering**. v. 67, n. 1-2, p. 215–223. 2005.

TAVARES, L. P. **Efeito da adição de argilas modificadas na estrutura e propriedades funcionais de biofilmes produzidos à base de zeína**. 2010. f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

THOMAS, D. J.; ATWELL, W. A. **Starches: Practical Guides for the Food Industry**. Minnesota: Eagan Press, 94, 1999. ISBN 0891127012.

THYS, R. C. S.; NOREÑA, C. P. Z.; MARCZAK, L. D. F.; AIRES, A. G.; CLADERA-OLIVERA, F. Adsorption isotherms of pinhão (*Araucaria angustifolia* seeds) starch and thermodynamic analysis. **Journal of Food Engineering**. v. 100, n. 3, p. 468–473. 2010.

TORRUCO-UCO, J.; BETANCUR-ANCONA, D. Physicochemical and functional properties of makal (*Xanthosoma yucatanensis*) starch. **Food Chemistry**. v. 101, n. 4, p. 1319–1326. 2007.

VAN SOEST, J. J. G.; VLIEGENTHART, J. F. G. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. **Trends in Biotechnology**. v. 15, n. 6, p. 208-213. 1997.

VIEIRA, F. C. **Efeito do tratamento com calor e baixa umidade sobre características físicas e funcionais dos amidos de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*), de batata-doce (*Ipomoea batatas*) e de gengibre (*Zingiber officinale*)**. 2004. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VILA, M. T. R.; LIMA, L. C. O.; VILAS BOAS, E. V. B.; HOJO, E. T. D.; RODRIGUES, L. J.; PAULA, N. R. F. Caracterização química e bioquímica de goiabas armazenadas sob refrigeração e atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1435-1442. 2007.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 387-394. 2008.

WANG, L.; XIE, B.; SHI, J.; XUE, S.; DENG, Q.; WEI, Y., TIAN, B. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 24, n. 2-3, p. 208-216. 2010.

WEBER, F. H. **Interações físico-químicas entre amidos de milho e hidrocolóides (gomas guar e xantana) e seus efeitos nas propriedades funcionais**. 2005. 135 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Estabilidade de geis de amido de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose adicionados de gomas guar e xantana durante os processos de congelamento e descongelamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 413-417. 2008.

WEBER, F. H.; COLLARES-QUEIROZ, F. P.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 748-753. 2009.

XIE, L.; HETTIARACHCHY, N. S.; JU, Z. Y.; MEULLENET, J.; WANG, H.; SLAVIK, M. F.; JANES, M. E. Edible film coating to minimize eggshell breakage and reduce post-wash bacterial contamination measured by dye penetration in eggs. **Journal of Food Science**. v. 67, n. 1, p. 280-284. 2002.



YAMANÍ, B. V. **Caracterização físico-química e funcional de amido de tuberosas originárias da América do Sul: oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) e mashua (*Tropeaolum tuberosum* Ruiz e Pavón).** 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências farmacêuticas da Universidade de São Paulo, São Paulo.

YANG, L.; PAULSON, A. T. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. **Food Research International**. v. 33, n. 7, p. 571-578. 2000.

YONEMOTO, P. G. **Efeito do tamanho dos grânulos nas características estruturais e físico-químicas do amido de trigo.** 2006. 101 f. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto.

ZAMBRANO, F.; CAMARGO, C. R. O. Otimização das condições de hidrólise ácida de amido de mandioca para obtenção de substituto de gordura. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 4, p. 147-154. 2001.

ZAMBRANO, F.; CAMARGO, C. R. O. Substitutos de gordura: efeito da concentração de ácido e do tempo de hidrólise do amido de mandioca em algumas características dos hidrolisados. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 2, n. 1-2, p.155-159. 1999.

ZAVAREZE, E. da R.; EL HALAL, S. L. M.; PEREIRA, J. M.; RADÜNZ, A. L.; ELIAS, M. C.; DIAS, A. R. G. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. II, p. 24-30; Série: SSA. 2009.

ZAVAREZE, E. da R.; PEREIRA, J. M.; MOURA, F. A. de; SPIER, F.; HELBIG, E.; DIAS, A. L. G. Teor de amido resistente e perfil de textura de amidos de arroz com diferentes níveis de amilose modificados hidrotermicamente. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. III, p. 96-101, Série: SSA. 2010.

ZAVAREZE, E. da R.; PINTO, V. Z.; KLEIN, B.; EL HALAL, S. L. M.; ELIAS, M. C.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; DIAS, A. R. G. Development of oxidised and heat–moisture treated potato starch film. **Food Chemistry**. v. 132, n. 1, p. 344–350. 2012.

ZEEMAN, S. C; SMITH, S. M.; SMITH, A. M. The breakdown of starch in leaves. **New Phytologist**. v. 163, n. 2, p. 247-261. 2004.

ZHANG, L.; LIU, P.; WANG, Y.; GAO, W. Study on physico-chemical properties of dialdehyde yam starch with different aldehyde group contents. **Thermochimica Acta**. v. 512, n. 1-2, p. 196 - 201. 2011.

ZHANG, T.; OATES, C. G. Relationship between  $\alpha$ -amylase degradation and physico-chemical properties of sweet potato starches. **Food Chemistry**. v. 65, n. 2, p. 157–163. 1999.

ZHANG, Y.; HAN, J. H. Mechanical and thermal characteristics of pea starch films plasticized with monosaccharides and polyol. **Journal of Food Science**. v. 71, n. 2, p.109-118. 2006.

## **APÊNDICE A**

**Tabela A.1** - Análise de variância do teor de água das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,19635	0,19635	2,2213 ns
Tipo de fécula (F2)	1	1,41797	1,41797	16,0410 **
Interação F1 x F2	1	0,19431	0,19431	2,1982 ns
Resíduo	8	0,70717	0,08840	
<b>Total</b>	11	2,51580		

\*\* - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.2** - Análise de variância do teor de cinzas das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,00077	0,00077	4,2353 ns
Tipo de fécula (F2)	1	0,00004	0,00004	0,2224 ns
Interação F1 x F2	1	0,00001	0,00001	1,5080 ns
Resíduo	8	0,00145	0,00018	
<b>Total</b>	11	0,00227		

ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.3** - Análise de variância do teor de proteínas das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,00097	0,00097	0,6711 ns
Tipo de fécula (F2)	1	0,00021	0,00021	0,1438 ns
Interação F1 x F2	1	0,00008	0,00008	0,0518 ns
Resíduo	8	0,01159	0,00145	
<b>Total</b>	11	0,01284		

ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.4** - Análise de variância do teor de lipídeos das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,00033	0,00033	01,2750 ns
Tipo de fécula (F2)	1	0,00001	0,00001	0,0260 ns
Interação F1 x F2	1	0,00023	0,00023	0,9023 ns
Resíduo	8	0,00208	0,00026	
<b>Total</b>	11	0,00265		

ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.5** - Análise de variância do teor de amido das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,52668	0,52668	1,3324 ns
Tipo de fécula (F2)	1	0,45786	0,45786	1,1583 ns
Interação F1 x F2	1	0,02862	0,02862	0,0724 ns
Resíduo	8	3,16235	0,39529	
<b>Total</b>	11	0, 417551		

ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.6** - Análise de variância do teor de amilose das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	2,81688	2,81688	1,8655 ns
Tipo de fécula (F2)	1	514,62042	514,62042	340,8187**
Interação F1 x F2	1	0,89982	0,89982	0,5959 ns
Resíduo	8	12,07963	0,39529	
<b>Total</b>	11	530,41675		

\*\* - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.7** - Análise de variância de pH das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,00068	0,00068	0,1961 ns
Tipo de fécula (F2)	1	0,00301	0,00301	0,8741 ns
Interação F1 x F2	1	0,00021	0,00021	0,0605 ns
Resíduo	8	0,02753	0,00344	
<b>Total</b>	11	0,03143		

ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.8** - Análise de variância de acidez das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,00000	0,00000	0,0105 ns
Tipo de fécula (F2)	1	0,00000	0,00000	0,0947 ns
Interação F1 x F2	1	0,00001	0,00001	0,1684 ns
Resíduo	8	0,00025	0,00003	
<b>Total</b>	11	0,00026		

ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.9** - Análise de variância de densidade das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,00276	0,00276	1,1604 ns
Tipo de fécula (F2)	1	0,04788	0,04788	20,1277 **
Interação F1 x F2	1	0,00071	0,00071	0,2965 ns
Resíduo	8	0,01903	0,00238	
<b>Total</b>	11	0,07038		

\*\* - significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. -quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.10** - Análise de variância da sinérese acumulada das féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	38,0956	38,0956	6,6335 *
Tipo de fécula (F2)	1	1458,45315	1458,45315	253,9584 **
Interação F1 x F2	1	10,39555	10,39555	1,8102 ns
Resíduo	8	45,94306	5,74288	
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>1552,88736</b>		

\*- significativo ao nível de 5% de probabilidade; \*\*- significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.11** - Análise de variância da dureza dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	4,57553	4,57553	307,1031 **
Tipo de fécula (F2)	1	0,59024	0,59024	39,6161 **
Concentração de fécula (F3)	4	86,92370	21,73092	1458,5491 **
Interação F1 x F2	1	0,04082	0,04082	2,7398 ns
Interação F1 x F3	4	2,45690	0,61422	41,2259 **
Interação F2 x F3	4	0,34252	0,08563	5,7474 **
Interação F1 x F2 x F3	4	0,05957	0,01489	0,9996 ns
Resíduo	40	0,59596	0,01490	
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>95,58524</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.12** - Análise de variância da adesividade dos geis à base de féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	2,01190	2,01190	88,6949 **
Tipo de fécula (F2)	1	0,59183	0,59183	26,0908 **
Concentração de fécula (F3)	4	3,57025	0,89256	39,3487 **
Interação F1 x F2	1	0,21540	0,21540	9,4959 **
Interação F1 x F3	4	1,22996	0,30749	13,5557 **
Interação F2 x F3	4	0,70213	0,17553	7,7383 **
Interação F1 x F2 x F3	4	0,18452	0,04613	2,0337 ns
Resíduo	40	0,90734	0,02268	
<b>Total</b>	<b>59</b>	<b>9,41332</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F



**Tabela A.13** - Valores experimentais de teor de água de equilíbrio (b.s.) para as isotermas de sorção das féculas nativas de inhame, em função da atividade de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fécula Nativa São Tomé						Fécula Nativa Da Costa					
20 °C		30 °C		40 °C		20 °C		30 °C		40 °C	
X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>
0,052	0,168	0,039	0,169	0,033	0,108	0,048	0,156	0,032	0,141	0,000	0,000
0,079	0,347	0,049	0,217	0,062	0,240	0,068	0,296	0,050	0,238	0,030	0,125
0,096	0,424	0,063	0,322	0,075	0,357	0,085	0,381	0,074	0,368	0,052	0,261
0,108	0,483	0,084	0,423	0,086	0,425	0,099	0,447	0,097	0,481	0,068	0,370
0,134	0,592	0,097	0,488	0,117	0,570	0,113	0,508	0,111	0,557	0,079	0,410
0,155	0,661	0,115	0,577	0,138	0,656	0,140	0,624	0,136	0,658	0,099	0,517
0,174	0,730	0,140	0,672	0,149	0,695	0,174	0,742	0,153	0,722	0,113	0,578
0,198	0,788	0,156	0,731	0,160	0,734	0,202	0,814	0,168	0,767	0,132	0,660
0,219	0,835	0,173	0,768	0,170	0,764	0,337	0,976	0,187	0,813	0,144	0,707
0,244	0,880	0,199	0,835	0,177	0,786			0,204	0,850	0,160	0,752
0,362	0,982	0,240	0,896	0,185	0,802			0,233	0,893	0,177	0,797
		0,340	0,976	0,198	0,829			0,252	0,914	0,197	0,848
				0,208	0,849			0,357	0,988	0,218	0,880
				0,219	0,865					0,347	0,978
				0,236	0,885						
				0,303	0,946						
				0,342	0,970						

**Tabela A.14** - Valores experimentais de teor de água de equilíbrio (b.s.) para as isotermas de sorção das féculas quimicamente modificadas de inhame, em função da atividade de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C

Fécula Modificada São Tomé						Fécula Modificada Da Costa					
20 °C		30 °C		40 °C		20 °C		30 °C		40 °C	
X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>	X <sub>e</sub>	a <sub>w</sub>
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,036	0,097	0,020	0,061	0,016	0,095	0,026	0,069	0,019	0,057	0,040	0,136
0,040	0,160	0,039	0,160	0,048	0,199	0,045	0,148	0,041	0,143	0,060	0,260
0,060	0,243	0,064	0,270	0,055	0,294	0,074	0,279	0,065	0,264	0,080	0,375
0,072	0,286	0,080	0,356	0,066	0,382	0,086	0,344	0,080	0,377	0,088	0,459
0,088	0,383	0,099	0,462	0,077	0,448	0,105	0,455	0,094	0,427	0,108	0,553
0,093	0,420	0,125	0,592	0,097	0,545	0,123	0,545	0,119	0,551	0,125	0,621
0,108	0,494	0,153	0,693	0,118	0,639	0,140	0,624	0,156	0,647	0,146	0,697
0,120	0,549	0,176	0,765	0,139	0,713	0,153	0,667	0,165	0,734	0,168	0,729
0,142	0,643	0,200	0,820	0,161	0,781	0,162	0,697	0,210	0,842	0,188	0,795
0,161	0,712	0,223	0,859	0,212	0,876	0,183	0,763	0,360	0,965	0,213	0,834
0,180	0,769	0,259	0,905	0,239	0,907	0,208	0,819			0,246	0,888
0,198	0,812					0,328	0,945			0,256	0,911
0,215	0,843										
0,323	0,948										

**Tabela A.15** - Análise de variância da gramatura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	259,65997	259,65997	7,2872 *
Tipo de fécula (F2)	1	1362,29788	1362,29788	38,2321 **
Concentração de glicerol (F3)	1	110,72510	110,72510	3,1074 ns
Interação F1 x F2	1	0,00144	0,00144	0,0000 **
Interação F1 x F3	1	4,47725	4,47725	0,1257 ns
Interação F2 x F3	1	93,86006	93,86006	2,6341 ns
Interação F1 x F2 x F3	1	136,52694	136,52694	3,8315 ns
Resíduo	16	570,11738	35,63234	
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>2537,6603</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.16** - Análise de variância da espessura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	0,00093	0,00093	0,9404 ns
Tipo de fécula (F2)	1	0,01917	0,01917	19,3470 **
Concentração de glicerol (F3)	1	0,00235	0,00235	2,3704 ns
Interação F1 x F2	1	0,00051	0,00051	0,5126 ns
Interação F1 x F3	1	0,00081	0,00081	0,8149 ns
Interação F2 x F3	1	0,00134	0,00134	1,3486 ns
Interação F1 x F2 x F3	1	0,00054	0,00054	0,5403 ns
Resíduo	168	0,16650	0,00099	
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>0,19214</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.17** - Análise de variância da opacidade dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	1,48703	1,48703	7,7614 *
Tipo de fécula (F2)	1	19,42560	19,42560	101,3898 **
Concentração de glicerol (F3)	1	1,70667	1,70667	8,9078 **
Interação F1 x F2	1	0,16500	0,16500	0,8612 ns
Interação F1 x F3	1	0,13231	0,13231	0,6906 ns
Interação F2 x F3	1	0,92355	0,92355	4,8204 *
Interação F1 x F2 x F3	1	0,06720	0,06720	0,3508 ns
Resíduo	16	3,06549	0,19159	
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>26,97286</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.18** - Análise de variância da solubilidade em água dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	85,62837	85,62837	1,8292 ns
Tipo de fécula (F2)	1	364,29938	364,29938	7,7822 *
Concentração de glicerol (F3)	1	201,34730	201,34730	4,3012 ns
Interação F1 x F2	1	30,79268	30,79268	0,6578 ns
Interação F1 x F3	1	7,98453	7,98453	0,1706 ns
Interação F2 x F3	1	26,21905	26,21905	0,0820 ns
Interação F1 x F2 x F3	1	3,83920	3,83920	2,1976 ns
Resíduo	16	748,99118	46,81195	
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>1469,10168</b>		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.19** - Análise de variância da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	333,22363	333,22363	248,0245 **
Tipo de fécula (F2)	1	27,95042	27,95042	20,8040 **
Concentração de glicerol (F3)	1	121,82422	121,82422	90,6760 **
Interação F1 x F2	1	6,75220	6,75220	5,0258 *
Interação F1 x F3	1	88,22034	88,22034	65,6640 **
Interação F2 x F3	1	7,17883	7,17883	5,3433 *
Interação F1 x F2 x F3	1	17,21782	17,21782	12,8155 **
Resíduo	16	21,49617	1,34351	
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>623,86363</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; \* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

**Tabela A.20** - Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol

Variedade de inhame x Tipo de fécula	Concentração de glicerol	
	20 %	30 %
<b>São Tomé x Nativa</b>	24,03 aA	12,90 bB
<b>São Tomé x Modificada</b>	24,46 aA	18,91 aB
<b>Da Costa x Nativa</b>	12,11 bA	12,04 bA
<b>Da Costa x Modificada</b>	13,81 bA	12,54 bA

DMS para colunas = 2,7103; DMS para linhas = 2,0076; MG = 16,35058; CV = 7,09 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação.

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

**Tabela A.21** - Comparação entre médias da tensão na ruptura dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas de inhames variedades São Tomé e Da Costa, para a interação entre os fatores variedade de inhame, tipo de fécula e concentração de glicerol

Variedade de inhame x Concentração de glicerol	Tipo de fécula	
	Nativa	Modificada
<b>São Tomé x 20 %</b>	24,03 aA	12,11 aB
<b>São Tomé x 30 %</b>	12,90 cA	12,04 aA
<b>Da Costa x 20 %</b>	24,46 aA	13,81 aB
<b>Da Costa x 30 %</b>	18,91 bA	12,54 aB

DMS para colunas = 2,7103; DMS para linhas = 2,0076; MG = 16,35058; CV = 7,09 %

DMS - desvio mínimo significativo; MG - média geral; CV - coeficiente de variação.

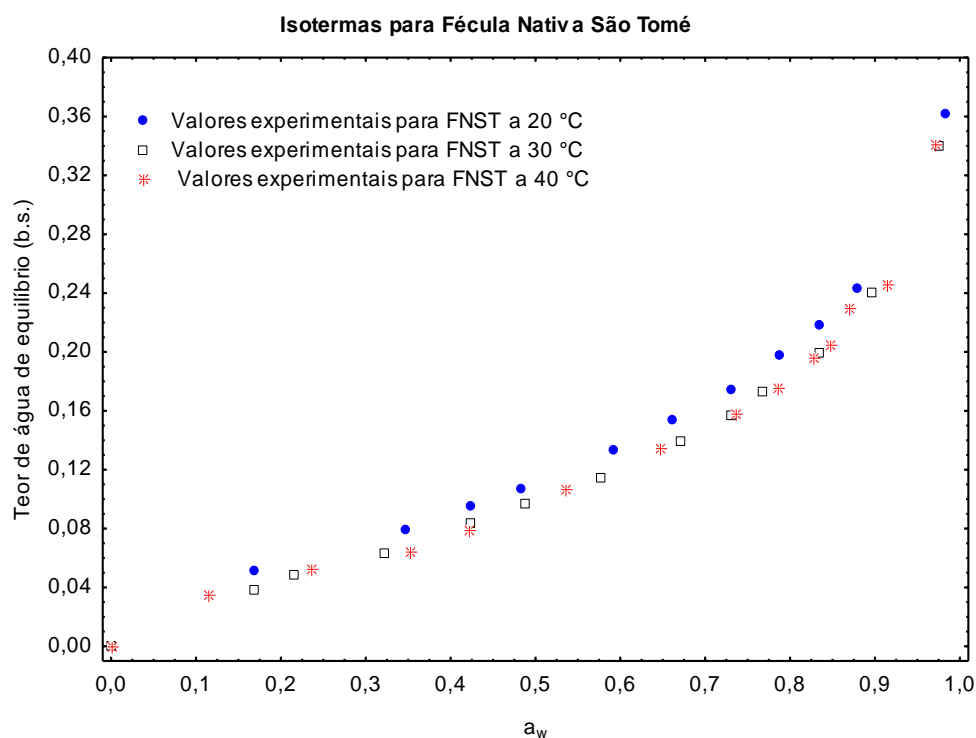
Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

**Tabela A.22** - Análise de variância da porcentagem de alongação dos biofilmes à base de féculas nativas e quimicamente modificadas provenientes de inhames variedades São Tomé e Da Costa

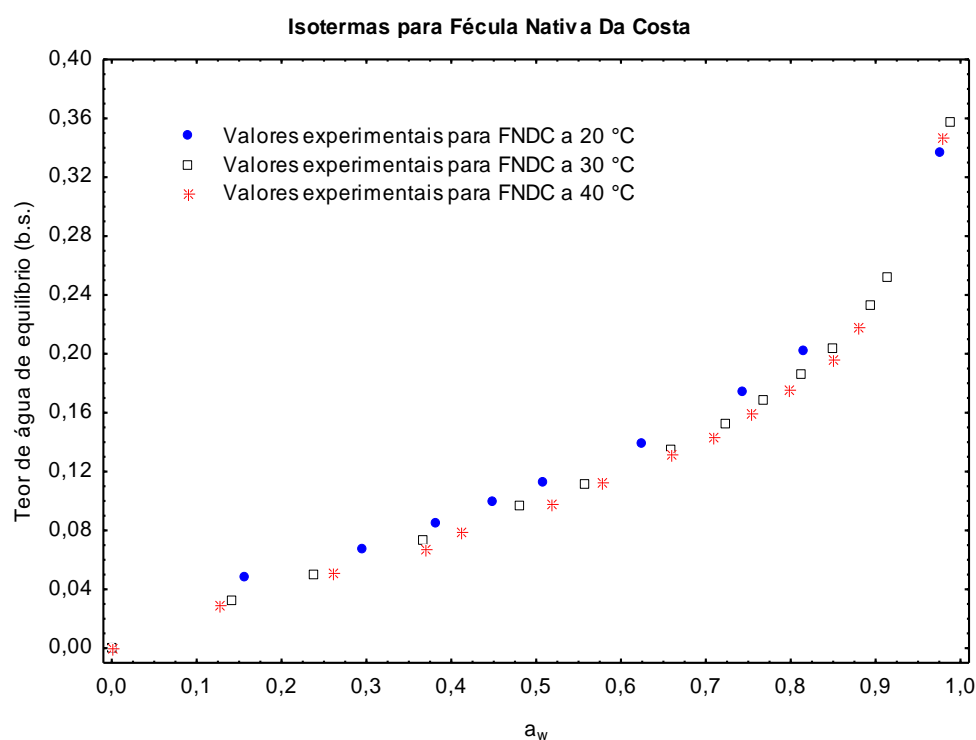
Fonte de Variação	Análise de variância			
	G. L.	S. Q.	Q. M.	F
Variedade de inhame (F1)	1	1,76801	1,76801	1,6635 ns
Tipo de fécula (F2)	1	1,10253	1,10253	1,0374 ns
Concentração de glicerol (F3)	1	19,43640	19,43640	18,2874 **
Interação F1 x F2	1	0,24000	0,24000	0,2258 ns
Interação F1 x F3	1	0,12298	0,12298	0,1157 ns
Interação F2 x F3	1	0,04403	0,04403	0,0414 ns
Interação F1 x F2 x F3	1	0,00493	0,00493	0,0046 ns
Resíduo	16	17,00526	1,06283	
<b>Total</b>	<b>23</b>	<b>39,72414</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - graus de liberdade; S.Q. - soma dos quadrados; Q.M. - quadrado médio dos desvios; F - variável do teste F

## **APÊNDICE B**

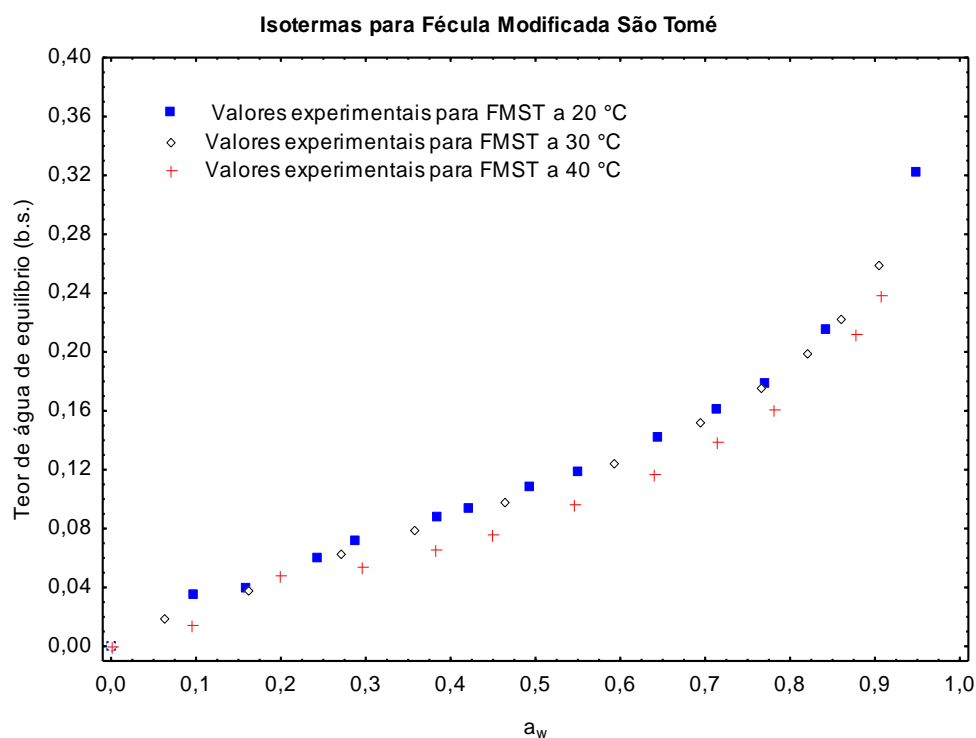


**Figura B.1** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C para a fécula nativa de inhame variedade São Tomé (FNST)

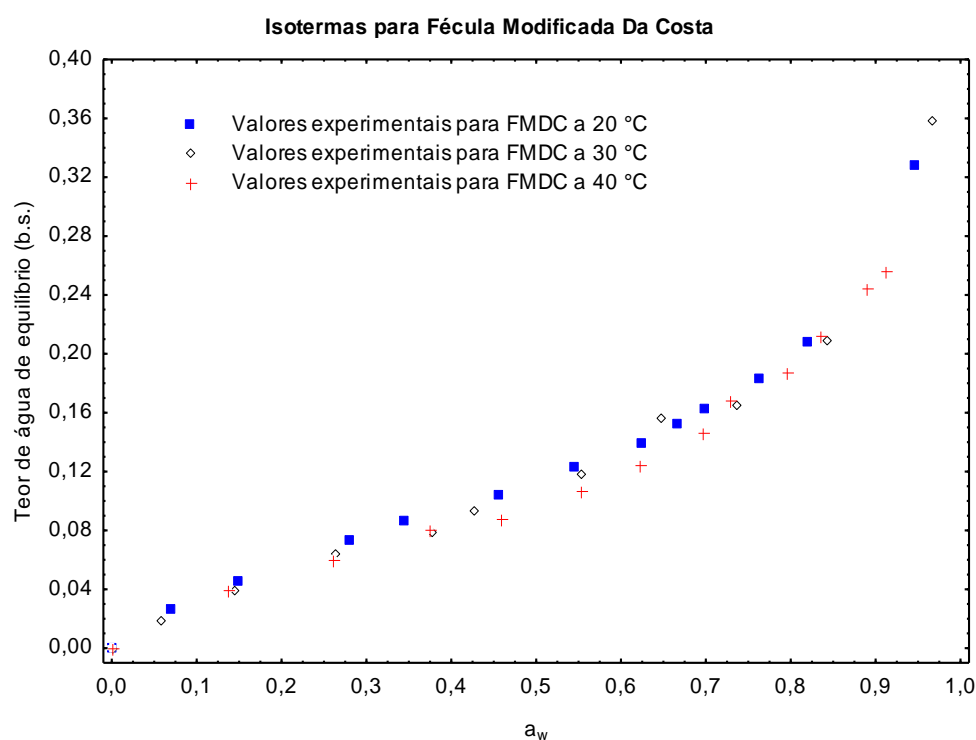


**Figura B.2** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C para a fécula nativa de inhame variedade Da Costa (FNDC)

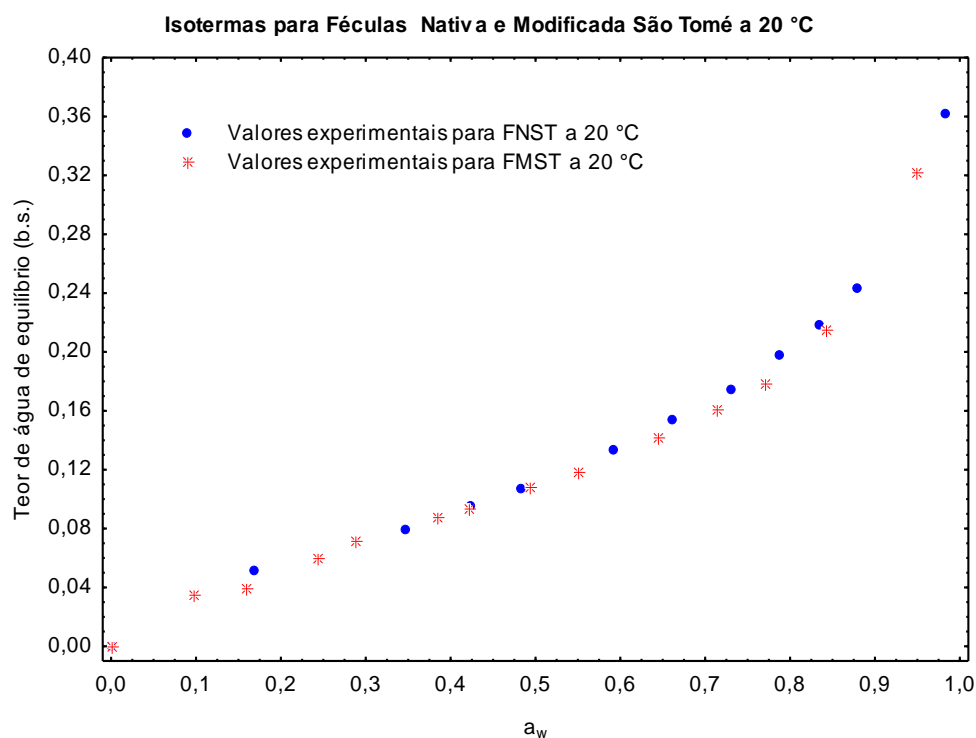




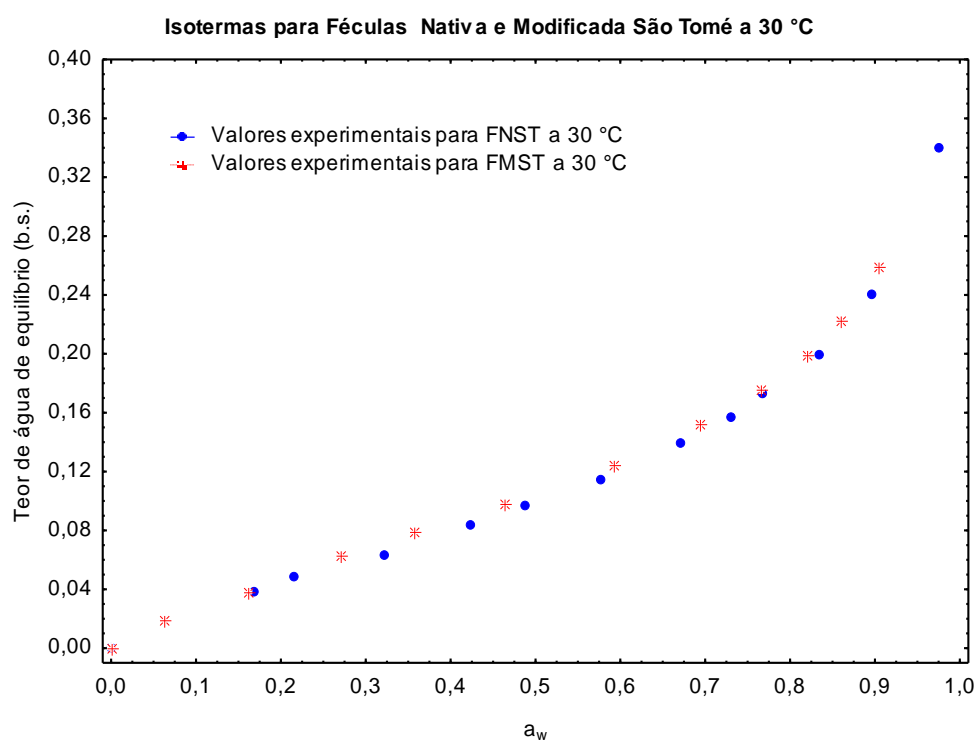
**Figura B.3** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade São Tomé (FMST)



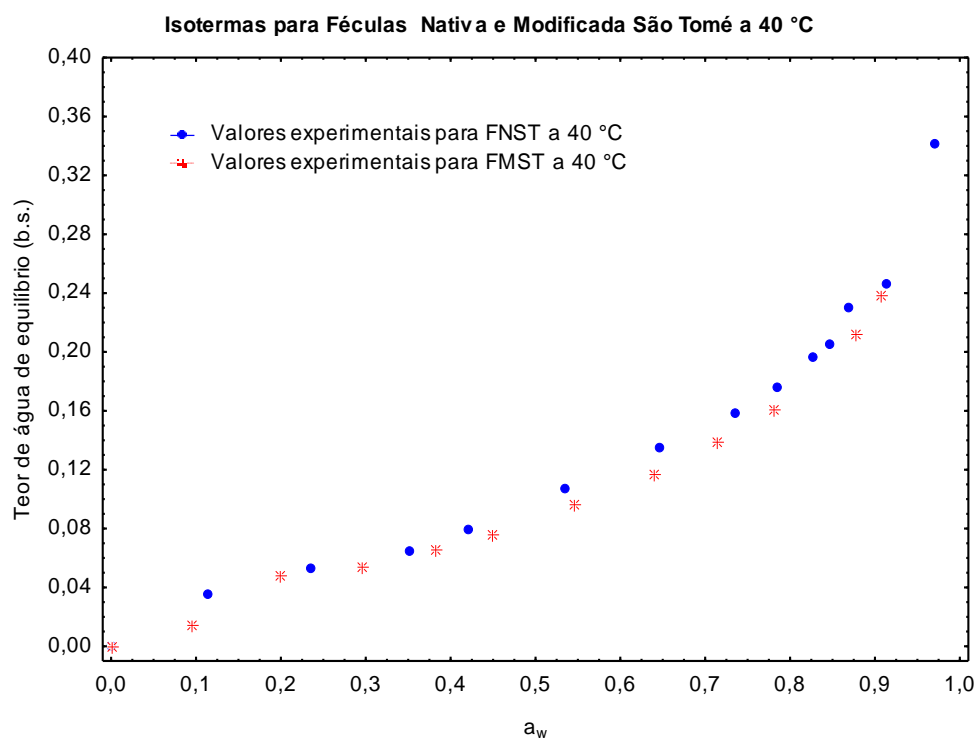
**Figura B.4** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C para a fécula quimicamente modificada de inhame variedade Da Costa (FMDC)



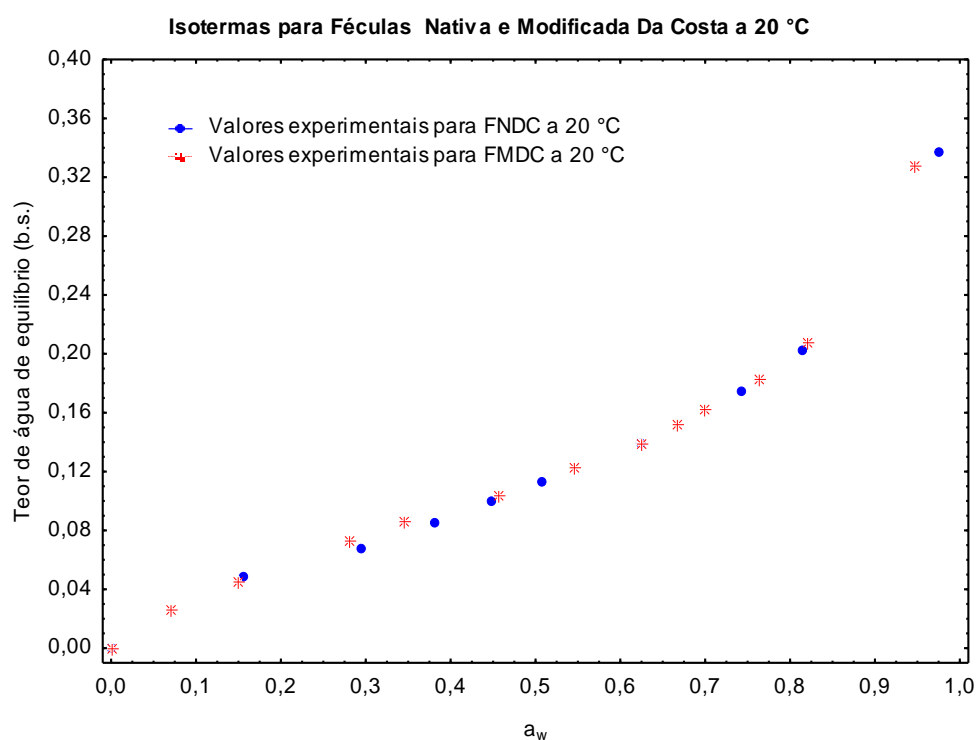
**Figura B.5** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água na temperatura de 20 °C para as féculas nativa (FNST) e quimicamente modificada (FMST) de inhame variedade São Tomé



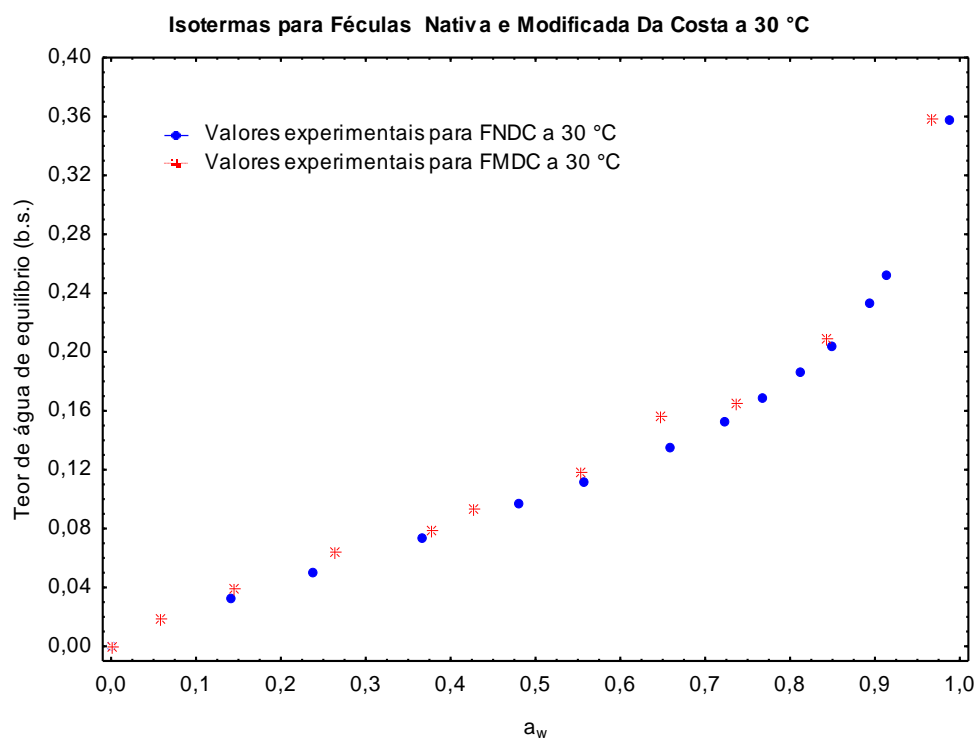
**Figura B.6** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água na temperatura de 30 °C para as féculas nativa (FNST) e quimicamente modificada (FMST) de inhame variedade São Tomé



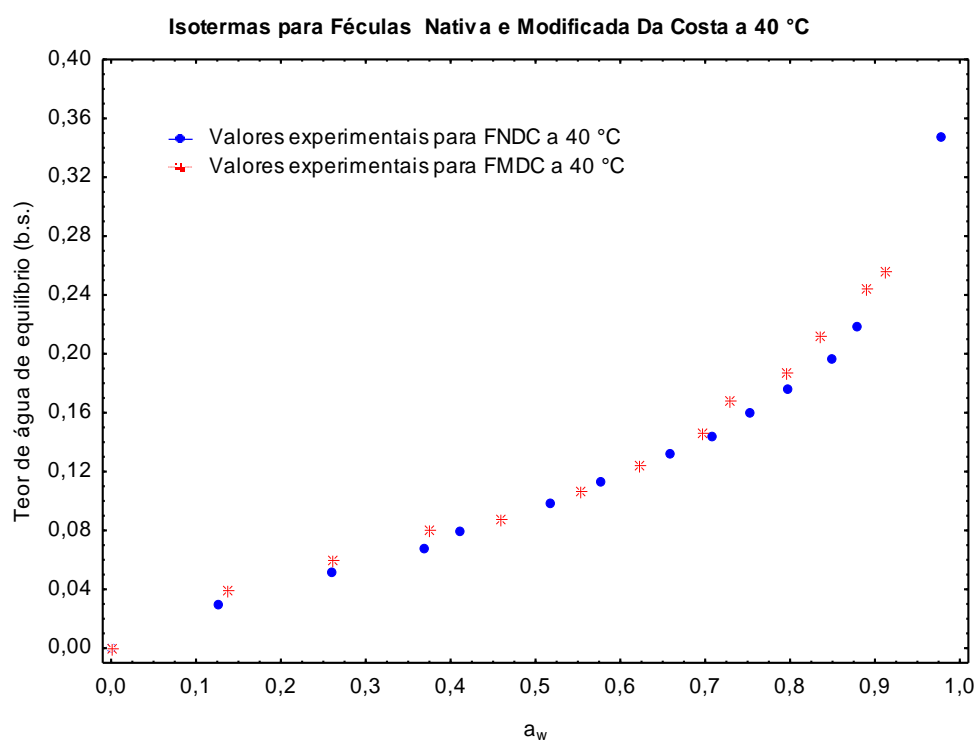
**Figura B.7** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água na temperatura de 40 °C para as féculas nativa (FNST) e quimicamente modificada (FMST) de inhame variedade São Tomé



**Figura B.8** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água na temperatura de 20 °C para as féculas nativa (FNDC) e quimicamente modificada (FMDC) de inhame variedade Da Costa



**Figura B.9** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água na temperatura de 30 °C para as féculas nativa (FNDC) e quimicamente modificada (FMDC) de inhame variedade Da Costa



**Figura B.10** - Curvas com dados experimentais das isotermas de sorção de água na temperatura de 40 °C para as féculas nativa (FNDC) e quimicamente modificada (FMDC) de inhame variedade Da Costa